

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie



APLIKACE GIS VE VODOHOSPODÁŘSTVÍ NA PŘÍKLADU REGIONU DOBŘÍŠSKO

**APPLICATION OF GIS IN WATER MANAGEMENT
IN DOBŘÍŠSKO**

Bakalářská práce

Lenka Hladíková

květen 2010

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Přemysl Štych, Ph. D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně za použití všech řádně citovaných pramenů. Také jsem si vědoma toho, že případné využití výsledků této práce je možné pouze s písemným souhlasem Univerzity Karlovy v Praze. Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci vypůjčovatelů.

V Praze dne 18. května 2010

.....

Lenka Hladíková

Poděkování

Na prvním místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce RNDr. Přemyslu Štychovi, Ph. D. za cenné rady a připomínky k práci, ale i za čas a ochotu při konzultacích. Velký dík patří také Ing. Petru Janskému z Mapové sbírky Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za zapůjčení historických map pro potřeby této práce.

Aplikace GIS ve vodohospodářství na příkladu regionu Dobříšsko

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce se zabývá využitím geoinformačních systémů (GIS) ve vodohospodářství. Je zde analyzována změna vodních zdrojů - konkrétně říční síť, vodních ploch a mokřadů na Dobříšsku za posledních 150 let. K analýze byly využity mapy 2. vojenského mapování, 3. vojenského mapování, mapy Generálního štábu ČSA z 50. let 20. století a současná databáze hydrologických a vodohospodářských dat DIBAVOD. Dále je zde řešena problematika akumulace vody v regionu pomocí hydrologických nástrojů softwaru ArcGIS 9.3. Všechna vytvořená data byla společně uložena v geodatabázi a budou dále využívána pro potřeby Vodohospodářské společnosti Dobříš.

Klíčová slova: GIS, vodohospodářství, hydrologické modelování

Application of GIS in water management in Dobříšsko

Abstract

This thesis deals with the use of the geoinformation systems (GIS) in water management. The change of water resources (river network, water areas and wetlands) in Dobříšsko region over the last 150 years is analyzed here. This analysis was processed by using historical maps of the 2nd military mapping, 3rd military mapping, maps of the General Staff of the Czechoslovak army from the 1950s of the 20th century and the current database of hydrological and water management data called DIBAVOD. Then the issue of water accumulation in the region is solved by using hydrological tools provided by the software ArcGIS 9.3. All created data are stored in a geodatabase and they will serve for needs of a company Vodohospodářská společnost Dobříš.

Keywords: GIS, water management, hydrologic modelling

OBSAH

Přehled použitých zkratek	7
Seznam obrázků a tabulek	8
1 ÚVOD.....	9
2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	10
2.1 Voda a vodní zdroje	10
2.1.1 Úpravy vodního prostředí a jejich historický vývoj.....	10
2.1.2 Rybníky a jejich historický vývoj	12
2.2 Současné možnosti využití GIS ve vodohospodářství.....	12
2.2.1 Zapojení GIS ve správě hydrologických a vodohospodářských dat	12
2.2.2 Hlavní databáze hydrologických prostorových dat v Česku.....	14
2.2.3 Využití metod dálkového průzkumu Země ve vodohospodářství.....	15
2.3 Hydrologické modelování.....	16
2.3.1 Digitální modely terénu a jejich využití pro hydrologické modelování.	17
2.4 Analýza dlouhodobých změn vodních ploch a toků pomocí starých map	18
3 DATA A METODIKA.....	20
3.1 Vymezení a stručná charakteristika území	20
3.2 Vstupní data	21
3.2.1 Müllerova mapa a 1. vojenské mapování.....	21
3.2.2 2. vojenské mapování	21
3.2.3 3. vojenské mapování	22
3.2.4 Mapy Stablního katastru	22
3.2.5 Mapy Generálního štábu ČSA.....	22
3.2.6 Datové soubory vodohospodářské infrastruktury VHS Dobříš.....	22
3.2.7 Vrstevnice ZABAGED pro tvorbu DMT.....	23
3.3 Použitý software	23
3.4 Metodika	26
3.4.1 Geometrická transformace rastrových map.....	26
3.4.2 Vektorizace.....	30
3.4.3 Uložení dat	30

3.5 Modelování akumulace vody v GIS	31
3.5.1 Tvorba DMT	31
3.5.2 Flow direction raster.....	32
3.5.3 Flow accumulation raster	32
4 VÝSLEDKY	34
4.1 Interpretace starých map pro analýzu změn vodních zdrojů	34
4.2 Změny vodních toků	35
4.3 Změny vodních ploch	37
4.4 Akumulace vody v území	39
4.5 Navržený datový model	39
5 DISKUSE.....	41
6 ZÁVĚR	44
Seznam použité literatury	45
Seznam příloh.....	49

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

CAD	Computer aided design (počítačem podporované projektování)
CEVT	Centrální evidence vodních toků
DGN	Vektorový souborový formát
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
DMT	Digitální model terénu
DPZ	Dálkový průzkum Země
DPI	Dots per inch (počet bodů na palec) - rozlišení rastrových grafických formátů
GIS	Geoinformační systém (též geografický informační systém)
GPS	Global Positioning System (satelitní navigační systém)
LLS	Letecké a laserové scanování
RMS	Root Mean Square (střední kvadratická chyba)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
SHP	Shapefile (vektorový datový formát)
TIN	Triangulated Irregular Network (nepravidelná trojúhelníková síť)
TIFF	Tag Image File Format (souborový formát pro ukládání rastrové počítačové grafiky)
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský
ZABAGED	Základní báze geografických dat

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Porovnání současného datasetu vodních toků s daty LLS	16
Obrázek 2: Reprezentace povrchu pomocí TIN	18
Obrázek 3: Vymezené území	20
Obrázek 4: Znázornění struktury CAD feature dataset v aplikaci ArcCatalog	23
Obrázek 5: Základní součásti Arc Hydro Data Model	24
Obrázek 6: Srovnání metod převzorkování	28
Obrázek 7: Funkce Mosaic pro spojení dvou rastrů v aplikaci ArcCatalog	29
Obrázek 8: Model odtoku vody z buňky	31
Obrázek 9: Princip tvorby rastru směru odtoku a rastru akumulace vody.....	33
Obrázek 10: Znázornění vodních ploch na mapách 2. vojenského mapování.....	34
Obrázek 11: Změna toku řeky Kocáby od 2. vojenského mapování do současnosti.....	36
Obrázek 12: Změna rozlohy Huťského ryb. od 2. voj. mapování do současnosti.....	38
Tabulka 1: Délky vybraných vodních toků za jednotlivá období.....	35
Tabulka 2: Rozloha vybraných vodních ploch za jednotlivá období.....	37
Tabulka 3: Struktura uložení dat v navržené geodatabázi	40
Tabulka 4: Měřítko a dosažená RMS chyba u zkoumaných mapových děl.....	41

1 ÚVOD

Postupná přeměna přírodní krajiny v kulturní byla odpradáвна spojena s úpravami vodních toků a vodního prostředí obecně. Při studiu současné krajiny se stále častěji přihlíží k historickému vývoji krajiny. Zde jsou neocenitelným zdrojem historické mapy z různých časových období, které nachází uplatnění zejména v geografických a krajinářských disciplínách, ale i v praktických aplikacích, jakými jsou např. revitalizace vodního prostředí či územní plánování. Geoinformační systémy (GIS) otevírají další možnosti analýzy krajiny a přesného studia vývoje jednotlivých krajinných složek. Současné GIS nabízí nástroje pro analýzu změn vodních zdrojů v minulosti, pro modelování hydrologických jevů i správu a uchování vodohospodářských dat.

V úvodu rešeršní části práce je představena problematika vodních zdrojů a úprav vodního prostředí, které budou zkoumány za pomoci analytických nástrojů GIS. Dále je zde uveden stručný souhrn současného využití GIS ve vodohospodářství se zaměřením na správu vodohospodářských dat a využívané databáze těchto dat. Je nahlédnuto do oblasti hydrologického modelování s důrazem na využití digitálních modelů terénu v tomto oboru. V praktické části bakalářské práce je toto demonstrováno modelem akumulace vody ve vybraném území. Rešerše je uzavřena stručným přehledem o významu starých map pro výzkum změn vodních toků a ploch za posledních 150 let a seznámením s projekty, které se touto tematikou již zabývaly a mohou tak sloužit pro porovnání s výsledky bakalářské práce.

2 LITERÁRNÍ REŠERŠE A ÚVOD DO PROBLEMATIKY

2.1 Voda a vodní zdroje

Voda je nedílnou součástí všeho živého na naší planetě. Objem vody ve všech skupenstvích je 1 392 milionů km³, z toho na povrchovou vodu na souši (sladkovodní a slaná jezera, umělé vodní nádrže, močály, bažiny a koryta řek) připadá pouhých 0,0177 % (Janský, 2006). Při porovnání těchto čísel s rozlohou České republiky si uvědomíme, že naše zásoby vody tvoří jen nepatrnou kapku z celé hydrosféry, která je pro nás ovšem životně důležitá (Němec a kol., 2006).

Primárním zdrojem vody jsou v České republice srážky. Za vodní zdroje se však považuje pouze ta jejich část, která se nachází na povrchu či pod povrchem země a je tedy vodohospodářsky využitelná. Vodní zdroje v tomto pojetí by se dále daly rozdělit podle toho, zda jsou či nejsou využitelné za přijatelných ekologických a ekonomických podmínek. Do skupiny nevyužitelných vodních zdrojů spadají hlavně mokřady, voda vázaná v ovzduší, v neživých organismech (např. v horninách) i v organismech živých (roślinách). Za využitelné vodní zdroje jsou tedy považovány vodní toky, přirozené či umělé vodní nádrže a část podzemní vody (Němec a kol., 2006).

2.1.1 Úpravy vodního prostředí a jejich historický vývoj

Nejstarší zásahy do vodního prostředí jsou podle Berana (2005) známy již od starověku; jednalo se zejména o propracované závlahové systémy a budování vodních nádrží u vyspělých civilizací v Egyptě, Mezopotámii, Číně a Indii. Mezi nejvýznamnější úpravy vodního prostředí patří odvodňování mokřadů, zkracování a změna tvaru vodních toků a také zakládání, respektive rušení rybníků a umělých vodních nádrží.

Mokřady a rašeliniště byly v minulosti považovány za nehostinná a často nebezpečná místa, ale také na ně bylo pohlíženo jako na potenciální zemědělskou půdu, kde většímu využití bránil nadbytek vody. Právě snaha o rozšíření orné půdy byla příčinou velkého ústupu a ničení těchto lokalit. Jejich vysušením člověk získal aspoň na nějaký čas úrodnou půdu a vysoušení mokřadních oblastí bylo po dlouhou dobu považováno za prospěšné. Dalekosáhlé důsledky odvodňování přirozeně vlhkých oblastí se dostavily až později - kromě nenávratného poškození až zničení původních ekosystémů tak zanikla i důležitá zásobárna přebytečné dešťové vody (Reichholf, 1988). Mezi lety 1950 až 1990 bylo v České republice odvodněno přes 1 milion hektarů zemědělské půdy, čímž se plocha evidovaných mokřadů zmenšila na méně než třetinu. Zemědělská velkovýroba tak v 2. pol. 20. století způsobila výraznou degradaci půdy (Němec a kol., 2006).

Podle Němce a kol. (2006) je v současnosti v České republice ze 76 tisíc km vodních toků upraveno 21,6 tisíc km (tj. 28,4 %). Lze tedy říci, že antropogenní změny u nás zasáhly velkou část říční sítě. Např. na Labi došlo mezi lety 1848 až 1992 v důsledku regulací ke zkrácení řeky jen v úseku Jaroměř - Mělník o celých 12 % původní délky a úsek Mělník - Chvaletice je již plně kanalizovaný.

Mezi nejčastěji prováděné úpravy patří zkracování délky toků a jejich narovnávání, stabilizace koryta, změny trasy toku a úpravy sklonu nebo příčného profilu. Patří sem i budování různých objektů a překážek na toku (jezy a další příčné stavby). Za největší zásahy do krajiny je považováno zakrytí nebo zatrubnění úseku toku.

Zvláštní kategorii tvoří umělé vodní toky, jejichž délka u nás dosahuje 15 tisíc km. Vznikaly většinou pro potřeby převodů vody, zejména pro průmysl, zemědělství, hornictví či rybníkářství; ale i např. při rekultivaci krajiny zničené povrchovou těžbou uhlí (Němec a kol., 2006).

Nejstarší zaznamenané lidské zásahy do přirozených koryt řek a potoků na našem území pochází ze středověku. Vodní síla byla v těchto dobách nejčastěji využívána ve vodních mlýnech, pilách a hamrech - zde docházelo k přehrazení toku jezy a stupni; voda pak byla přiváděna náhony do vodních nádrží nebo přímo k potřebným objektům. Přestože byl rozsah těchto úprav poměrně značný (ještě v polovině 19. století fungovalo na vodních tocích v Čechách přes 6 000 mlýnů), většinou nezpůsobovaly tvarovou degradaci koryt toků a změny v krajině nebyly tolik výrazné (Just, 2005).

Další úpravy na vodních tocích byly v tomto období prováděny také kvůli plavení dřeva a počátkům říční plavby - jednalo se hlavně o odstraňování největších překážek v korytě. Rozsah těchto změn byl však oproti pozdějším obdobím stále ještě nevýrazný.

Větší úpravy říčních koryt přišly až v 19. století ruku v ruce s rozvojem výroby, obchodu a říční plavby; ale zejména kvůli modernějším technologiím, které již umožňovaly mnohem výraznější zásahy do krajiny. Rozvoj úprav byl také částečně reakcí na katastrofální povodně z konce 19. století - nové zásahy do vodních toků měly před dalšími povodněmi ochránit zejména oblasti s vyšší hustotou osídlení a zemědělské plochy. Na protipovodňové regulace navazovaly úpravy menších vodních toků umožňující odvodnění zemědělské půdy, což bylo podpořeno i melioračním zákonem z roku 1884.

Na přelomu 19. a 20. století byl v České republice zahájen projekt zesplavnění Labe a Vltavy a další regulace pokračovaly i v průběhu první poloviny 20. století. Ještě větší rozvoj úprav přišel v 50. a 60. letech spolu s rozmachem socialistického hospodaření a vyvrcholil v letech 70. až 80. Až změna politického systému v 90. letech postupně přináší nový pohled do problematiky úprav vodního prostředí, dochází k zavádění vhodnějších biotechnologických úprav toků a přistupuje se k revitalizaci některých v minulosti nevhodně upravených úseků (Němec a kol., 2006).

2.1.2 Rybníky a jejich historický vývoj

Podle Němce a kol. (2006) pochází nejstarší zprávy o zakládání rybníků ve střední Evropě z konce 10. století. Počátek rozsáhlé výstavby rybníků je spojován s kolonizačním úsilím mnišských řádů. Mniši přicházející hlavně z jižní a západní Evropy a spolu s novou vírou přinášeli také nové metody hospodářského využití půdy. Na příhodných místech se tak šířila výstavba rybníků. Konzumace ryb se zvyšovala zejména v době přísně dodržovaných půstů (ryba byla tehdy považována za postní jídlo).

Nejstarší konkrétní zmínka o rybnících v českých zemích je v tzv. listině Kladrubské z r. 1115, další až z r. 1227 z období vlády Přemysla Otakara II. V průběhu 13. a 14. století byly rybníky stavěny po celém území Čech a Moravy. Jednalo se však o ojedinělé, i když velikostí rozsáhlé stavby (např. jihočeský rybník Dvořiště), nikoli o ucelené vodohospodářské soustavy. První útlum ve výstavbě rybníků přišel v 15. století během husitských válek, kdy řada rybníků zpustla nebo byla přímo zničena. Zlatým věkem českého rybníkářství je nazýváno 16. století, kdy budování nových rybníků směřovalo k vytváření celých rybníčních soustav. Tato éra je spojena se jmény Štěpánka Netolického a Jakuba Krčína z Jelčan, kteří kromě vybudování a úpravy mnoha známých jihočeských rybníků stojí i za vznikem dvou umělých kanálů - Zlaté stoky a Nové řeky (Beran, 2005). Němec a kol. (2006) udává, že výměra rybníčních ploch v tomto období dosahovala až 180 000 ha. Další úpadek rybníkářství následoval v období třicetileté války a dále v 18. století zejména kvůli novým hospodářskými postupům. V polovině 19. století tak výměra českých rybníků klesla na 35 414 ha. Opětovný růst nastal až na počátku 20. století (zejména z ekonomických důvodů) až na dnešních 52 000 ha. Většina rybníků má v současnosti rozlohu do 5 ha a oproti minulosti jsou v České republice rozmístěny značně nerovnoměrně (Němec a kol, 2006).

2.2 Současné možnosti využití GIS ve vodohospodářství

2.2.1 Zapojení GIS ve správě hydrologických a vodohospodářských dat

Hydrologové v současnosti používají velké množství dat zejména pro posouzení kvality vody, navrhování dodávek vody, správu vodních zdrojů, prevenci povodní a v neposlední řadě také pro samotné porozumění přírodním dějům. Během 90. let se geoinformační systémy (GIS) ukázaly jako velmi užitečný nástroj pro správu těchto dat a následné hydrologické modelování. S růstem možností využití GIS a zlepšujícími se technologiemi tak narůstá i počet lidí, kteří GIS v těchto oborech využívají (Maidment, 2002).

V současnosti je stále častější spravování prostorových dat v GIS. Správa hydrologických a vodohospodářských dat v digitální podobě s využitím GIS má oproti klasickým papírovým

mapám řadu výhod - např. aktualizace dat je v prostředí GIS daleko jednodušší, neocenitelná je také možnost kombinace dat různých zdrojů (u papírových map velmi těžkopádná). Mnohá omezení papírových map odstraňují GIS tím, že uchovávají původní podkladová data pro vytvoření mapy a samotnou mapu tvoří až v případě potřeby. Z těchto dat je pak možné vytvářet mapy s různým obsahem přizpůsobeným záměru jejich využití či přání uživatele (Kolář, 2003).

GIS také mají rozsáhlé využití v oblasti hydrologického modelování a analýz. Existuje množství nástrojů pro potřeby modelování záplavových zón, akumulace vodních srážek v povodí či pro vymezení vodní sítě. Jedním z mnoha nástrojů pro hydrologické modelování je software ArcGIS od firmy ESRI s extenzí Arc Hydro, která také bude využita pro potřeby této bakalářské práce.

Současným trendem v poskytování služeb v oblasti GIS je sdílení geografických dat a služeb prostřednictvím internetu. Díky moderním technologiím je možné přímo poskytovat webové služby GIS, ať se jedná o jednoduché zobrazování geografických dat a práci s mapou, nebo o složitější analýzy zpracovávané na serveru na základě požadavků klientské aplikace (ARCDATA, 2010).

Většina významných vodárenských společností v České republice již používá systémy založené na CAD či GIS zejména pro pořizování dat o spravovaném majetku. V současnosti je tedy hlavní otázkou, jak tato data aktualizovat, zpřístupnit je co nejširšímu okruhu uživatelů a jak co nejlépe zapojit GIS do stávajících informačních systémů společnosti.

Základní oblastí pro využití GIS ve vodárenství je správa majetku (jedná se hlavně o vodovodní a kanalizační síť, budovy a parcely dané společnosti). Kvalitní evidence majetku se bez informace o jeho umístění zcela neobejde; nutností je též možnost zobrazení všech potřebných objektů v mapě, vyhledání dostupných informací o vybraném objektu, případně jeho nalezení podle požadovaných kritérií. Významnými přednostmi GIS jsou možnost plánovat pravidelnou údržbu a u moderních mobilních GIS také snadné vyhledání zařízení v terénu, sběr aktuálních informací o něm a po skončení terénních prací automatizované přenesení dat do celopodnikového systému.

GIS také najdou uplatnění v krizovém řízení, zejména při haváriích na potrubí. GIS poskytne příslušnému pracovníkovi množství potřebných dat, které mu usnadní rozhodování při řešení nastalé situace. Tato data jsou poskytována z centrální databáze pomocí mobilní datové sítě přímo v terénu.

Využití GIS v oblasti vodárenství je však daleko více, mimo jiné také sledování aktuální polohy vozů pracovních čt pomocí GPS či plánování dalšího rozvoje sítí. Neméně důležité je též poskytování aktuálních informací zákazníkům, např. pomocí názorných map (Hudec, 2009).

Konkrétním příkladem může být skupina Veolia Voda, kde byla v roce 2007 zvolena technologie ESRI jako nová jednotná platforma GIS. Tato technologie je postupně nasazována v dceřiných firmách skupiny Veolia voda; první z nich byla společnost Pražské vodovody a kanalizace, a.s., která je v současnosti největším podnikem oboru vodovodů a kanalizací v České republice. Díky jednotnému rozhraní a vzájemné kompatibilitě jednotlivých produktů ESRI se podařilo zjednodušit správu dat a aplikací, zkvalitnit a zrychlit proces rozhodování a zajistit nepřetržitou dostupnost dat a jejich vyšší zhodnocení. Podobné řešení bylo zvoleno i ve společnosti Moravská vodárenská, a.s. (Hudec, 2009).

2.2.2 Hlavní databáze hydrologických prostorových dat v Česku

Nejpodrobnějším uceleným kartografickým dílem v oblasti hydrologie a vodního hospodářství je Základní vodohospodářská mapa v měřítku 1 : 50 000, kterou zpracoval Český úřad zeměměřický a katastrální formou čtyřbarevného dotisku do Základní mapy ČR stejného měřítku. Podle Voženíka (2001) jsou v Základní vodohospodářské mapě zobrazeny tyto prvky: síť vodních toků s vodohospodářskými objekty na nich, umělé vodní toky, hydrologické členění povodí toků, záplavová území, vodní nádrže a rybníky i s jejich číselnými charakteristikami, objekty a zařízení pro vodárenské odběry povrchových a podzemních vod, pásma ochrany vodních zdrojů, hlavní vodovodní řády, povodí vodárenských toků, objekty staničních sítí Českého hydrometeorologického ústavu, evidované prameny, vybrané minerální prameny s ochrannými pásmy, hlavní kanalizační sběrače, čistírny odpadních vod, skládky závadných odpadů a jiné. Vlastní tematický obsah mapy se skládá z objektů a zařízení na tocích (např. jezy, hráze, vodočty) a ostatních objektů a údajů (meteorologické stanice, prameny různých typů atd.).

Základní hydrologická a vodohospodářská data ve vektorové podobě jsou zpracována v rámci Základní báze geografických dat (ZABAGED) v měřítku 1 : 10 000. Jako tematická vodohospodářská nadstavba ZABAGEDu vznikla Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD). Podle definice Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka (VÚV T.G.M.) uvedené na internetových stránkách ústavu se jedná o „referenční geografickou databázi“ vytvořenou primárně z odpovídajících vrstev ZABAGED a cílově určenou pro tvorbu tematických kartografických výstupů s vodohospodářskou tematikou a tematikou ochrany vod nad Základní mapou ČR 1 : 10 000, resp. 1 : 50 000. DIBAVOD je průběžně aktualizovaný a doplňovaný „živý produkt“ spravovaný a vyvíjený na Oddělení geografických informačních systémů a kartografie VÚV T.G.M. Vybrané datové vrstvy objektů DIBAVOD jsou poskytovány zdarma ke stažení ve formátu ESRI shapefile. Více informací o projektu DIBAVOD je k dispozici na webových stránkách VÚV T.G.M.: <http://www.dibavod.cz>.

Nad geometrickou sítí vodních toků DIBAVOD dále vznikla vrstva vodních toků tzv. Centrální evidence vodních toků (CEVT) jako základní nosná a vazební evidence. Tato vrstva je využívána pro další územní vazby jevů ostatních evidencí a pro následnou aktualizaci vrstev vodních toků v návazných informačních systémech veřejné správy. Vodní toky jsou zde reprezentovány vždy celou linií od pramene k ústí či soutoku a dále jsou zde uvedeny tyto informace: název vodního toku, číselný identifikátor vodního toku, délka vodního toku, správce vodního toku a územní identifikace. Další informace jsou k nalezení v Průvodci aplikacemi v gesci Ministerstva zemědělství na webových stránkách <http://www.voda.gov.cz/portal/cz/InformacniPortalVODA.pdf>.

2.2.3 Využití metod dálkového průzkumu Země ve vodohospodářství

Důležitým zdrojem dat pro oblast hydrologie a vodního hospodářství je dálkový průzkum Země (DPZ). Letecké i družicové snímky jsou významným prostředkem pro mapování zemského povrchu, ať už se jedná o přírodní či člověkem uměle vytvořené jevy (Rapant, 2006). Na rozdíl od pozemních průzkumů však z těchto snímků můžeme zjistit mnoho důležitých a zajímavých informací o stavu a vlastnostech vody na zemském povrchu.

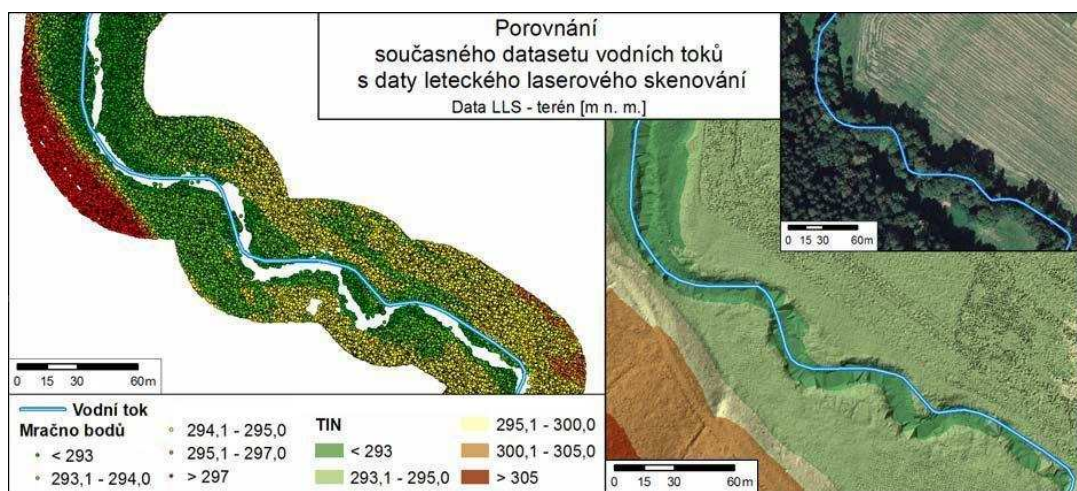
Zářivé vlastnosti vody jsou v celém oboru elektromagnetického spektra dost odlišné od ostatních látek na zemském povrchu. Voda v kapalném skupenství se vyznačuje nízkou odrazivostí na všech vlnových délkách. Odrazivost může být zvýšena přítomností jakýchkoli mechanických či biologických příměsí (Kolář, 1997); čehož může být využito při vymezení rozlohy vodních ploch či zjišťování znečištění vodních objektů (Langhammer, 2006). Další možností je podle Koláře (1997) využití tepelného záření vody k určení její teploty, to je však ztíženo složitými podmínkami, které formují přenos tepla mezi vodní hladinou a atmosférou.

Samotná přítomnost vody mění spektrální projev každého objektu. Této vlastnosti je možné využít při hodnocení rozložení vlhkosti v půdě i v krajině, např. pro mapování a monitorování mokřadů (Rapant, 2006).

Perspektivní metodou DPZ je letecké laserové skenování (LLS), které patří v současnosti k nejmodernějším technologiím pro pořizování prostorových dat. Základním principem LLS je vysílání laserových paprsků v podobě pulzů ze skeneru umístěného na leteckém nosiči. Odrazy od zemského povrchu i objektů na něm jsou zaznamenávány a z údaje o času, který uplyne mezi vysláním paprsku a přijetím jeho odrazu od zemského povrchu zpět do skeneru je vypočítána poloha bodu. (Uhlířová; Zbořil, 2009).

Skenery vhodné k celoplošnému mapování používají laser v blízkém infračerveném spektru, ve kterém voda toto záření téměř pohlcuje. Z toho plyne, že např. pro zjišťování hranice vodní

plochy nebo geometrie inundačního území je tato vlnová délka velmi vhodná. V naměřených datech se tak vodní plocha bude jevit jako oblast s velmi nízkou hustotou bodů. V datech LLS jsou velmi dobře rozpoznatelná koryta vodních toků; polohová přesnost současných dat vodních toků (např. databáze ZABAGED a DIBAVOD) je ve srovnání s LLS podstatně nižší - rozdíly činí místy až 20 metrů (viz obr. 1). Data LLS tak mohou být vhodným zdrojem pro zpřesnění průběhu os malých vodních toků a zjištění břehových čar plošných vodních toků. Další možné využití LLS je při identifikaci příčných stupňů ve vodním toku.



Obrázek 1: Porovnání současného datasetu vodních toků s daty leteckého laserového skenování

Zdroj: http://www.dibavod.cz/data/lls_clanek_vtei.pdf

LLS se v dnešní době řadí k základním metodám pořizování podkladů pro hydraulické modely. Přesný digitální model reliéfu je velmi důležitý zejména při stanovení rozvodnic a ploch povodí, které jsou základem k určení objemu srážek i pro další modelování v oblasti ochrany povrchových i podzemních vod.

Problémem, se kterým bude třeba se vypořádat, jsou obrovské objemy dat a tedy vysoké nároky na výpočetní techniku. Pravděpodobně tak zatím nebude možné řešit rozsáhlé oblasti a nutností bude data optimalizovat a členit je na menší celky (Uhlířová; Zbořil, 2009).

2.3 Hydrologické modelování

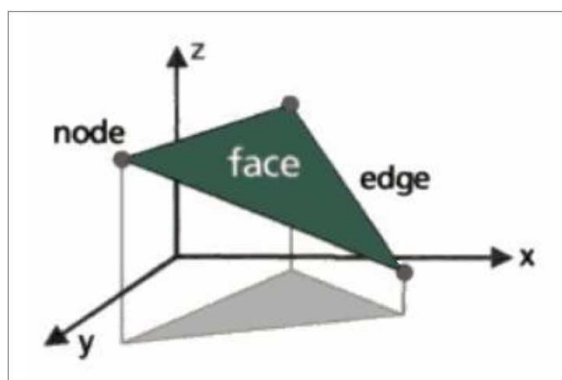
Hydrologické procesy a vodní zdroje obecně jsou často zkoumány za použití hydrologických modelů. Tento druh modelování vyžaduje řadu fyzikogeografických a morfologických informací o okolním terénu (jedná se zejména o uspořádání říční sítě, délku a sklon vodního toku a další charakteristiky). Tyto informace byly v minulosti zjišťovány převážně z map a terénních průzkumů, v posledních letech však převládá získávání potřebných dat z digitálních modelů terénu (Maidment; Djokic, 2000).

2.3.1 Digitální modely terénu a jejich využití pro hydrologické modelování

Rapant (2006) definuje v širším slova smyslu digitální model terénu (DMT) jako „digitální reprezentaci povrchu terénu, složenou z dat a interpolačního algoritmu, umožňujícího odvozovat nadmořské výšky v libovolných bodech nacházejících se uvnitř modelované oblasti“. Je nutné odlišovat od sebe pojmy digitální model terénu a digitální model reliéfu, v čemž se jednotliví autoři různí. Např. podle Braveného (Štych a kol., 2008) digitální model terénu popisuje „zemský povrch ve smyslu holého povrchu bez vegetace a lidských výtvarů jako jsou budovy, mosty apod.“ Na rozdíl od něj pak digitální model reliéfu (též povrchu) zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (např. střechy, koruny stromů apod.).

Podle Klimánka (2007a) existují celkem tři typy modelů - rastrový (grid), polyedrický (TIN) a plátový. Nejčastěji používané jsou rastrový a polyedrický model, přičemž každý z těchto modelů má své výhody i omezení (Maidment, 2002). Rastrový model se většinou skládá z matice čtvercových buněk s průměrnou výškou buňky uloženou v dvojrozměrném poli. Umístění buňky v matici je dáno její polohou v řádku a sloupci. Největší výhodou tohoto modelu je jeho početní jednoduchost a nenáročné zpracování (Maidment; Djokic, 2000). Tento model je vhodný zejména pro modelování relativně plochého terénu bez náhlých výškových změn. Rozměr základní buňky se totiž většinou volí tak, aby byl zachycen nejmenší požadovaný detail reliéfu. Na většině plochy je tak tento rozměr zbytečně malý a dochází tak k redundanci dat (Rapant, 2006).

U polyedrického modelu jsou elementární plochou trojúhelníky, které k sobě přiléhají a přimykají se k terénu. Tento postup je nazýván triangulace a vzniká jím nepravidelná trojúhelníková síť (v originále Triangulated Irregular Network, zkráceně TIN). Samotný trojúhelník se skládá z vrcholů (node) s určenými souřadnicemi X, Y a Z; hran (edge) propojujících jednotlivé vrcholy, a plošek (faces); jak je znázorněno na obrázku č. 2 (Klimánek, 2007a). Výhodou TINu oproti rastrovému modelu je přesnější reprezentace reliéfu při menších nárocích na paměť, horší výsledky však podává u plochého reliéfu (Rapant, 2006).



Obrázek 2: Reprezentace povrchu pomocí TIN

Zdroj: Maidment, 2002

Pro zpřesnění modelu terénu a zvýraznění terénních změn mohou být přidány další prvky, např. vrstva vodních toků a ploch, hřbet či vyvýšenina v terénu apod. (Maidment, 2002).

Digitální modely terénu jsou v oblasti hydrologie využívány zejména k identifikaci povrchových tvarů, které mají vliv na odtokové poměry oblasti (např. hřbety, údolí a říční sítě). Dále jsou vhodné pro vymezení povodí a zjišťování jednotlivých charakteristik vodních toků (šířka, délka, sklon vodního toku apod.). Přesnost těchto topografických informací závisí na kvalitě a rozlišení digitálního modelu a na zvoleném algoritmu (Maidment; Djokic, 2000).

Další využití DMT je při tvorbě srážkovo-odtokových modelů, při doplnění informací o pokryvu terénu je možné generovat i hydrogramy. Všechny zmíněné analýzy lze provádět nad DMT typu TIN i grid, přičemž u modelu typu grid jsou postupy provádění těchto analýz jednodušší a jejich přesnost je při tom dostačující (Rapant, 2006). Konkrétních nástrojů pro hydrologické modelování v GIS je mnoho, proto budou vybrané z nich popsány až v metodické části práce.

Pro pokročilejší hydrologické a hydraulické modelování je třeba využít specializovaný software. Často používanými modely jsou HEC-RAS, který slouží pro hydraulické modelování proudění vody v říčním korytě a inundačním území; a HEC-HMS, využívaný pro modelaci srážkovo-odtokových poměrů. Důležitým požadavkem je možnost exportu dat z prostředí softwaru ArcGIS do HEC-RAS a HEC-HMS a následný import zpět (Jedlička; Štych, 2007).

2.4 Analýza dlouhodobých změn vodních ploch a toků pomocí starých map

Podle Brůny a Křovákové (2006) jsou staré mapy středního a velkého měřítka neocenitelným zdrojem informací o charakteru krajiny v minulosti.

Téma využití historických map pro analýzy změn krajiny zkoumalo mnoho různých projektů a studií. Samotnou kartografickou analýzou historických map se zabýval např. projekt

Grantové agentury ČR „Georeferencování a kartografická analýza historických mapování Čech, Moravy a Slezska“ řešený v letech 2004 - 2006 ve spolupráci tří pracovišť: Laboratoře geoinformatiky Univerzity Jana Evangelisty Purkyně (UJEP) v Ústí nad Labem, Katedry matematiky Fakulty aplikovaných věd ZČU v Plzni a Katedry mapování a kartografie Fakulty stavební ČVUT v Praze (Mikšovský; Zimová, 2006). Ze studií zaměřených na výzkum krajinných změn z historických map je na místě zmínit dva projekty. Prvním z nich je projekt pro Ministerstvo životního prostředí (MŽP) nazvaný „Identifikace historické sítě prvků ekologické stability krajiny“, který byl podle Brůny a Křovákové (2005) impulsem ke studiu starých map v oblasti ochrany přírody a krajiny. Další studií je „Povodí Blanice v prostředí GIS: Využití historických mapových podkladů pro sledování změn krajinného pokryvu“, která byla pro Odbor ekologie krajiny MŽP ČR zpracována Laboratoří geoinformatiky UJEP v roce 2003.

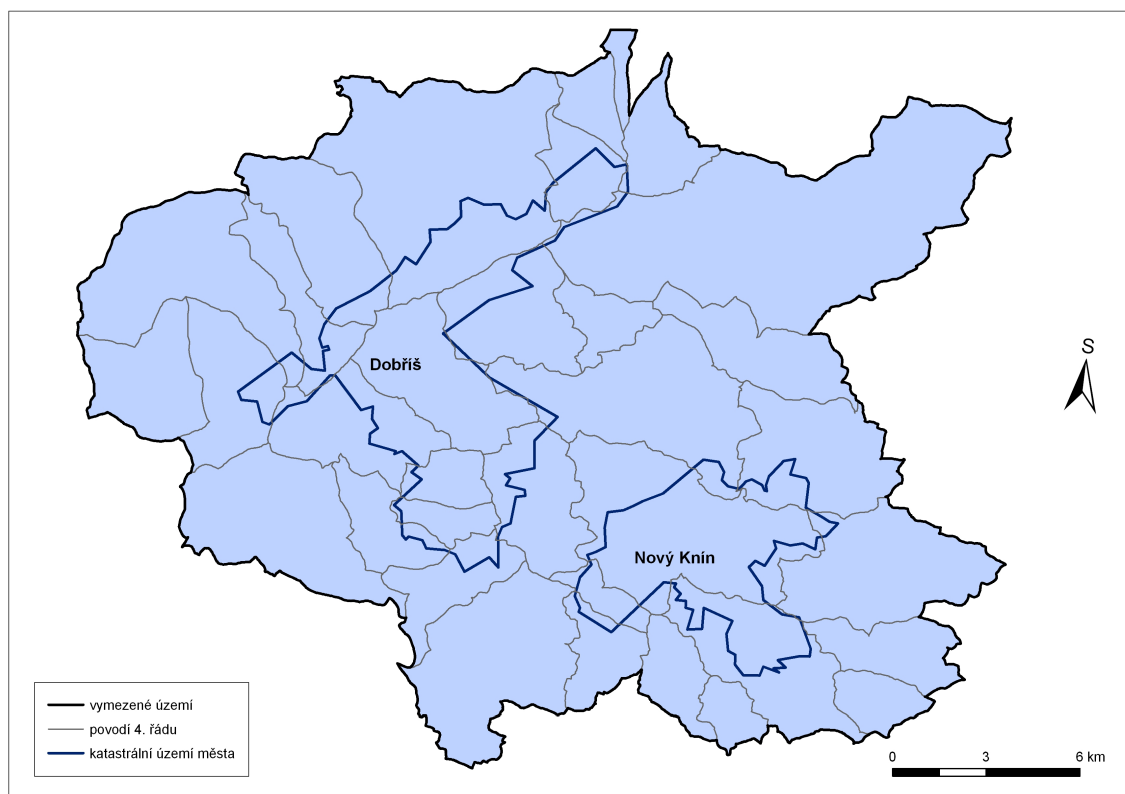
Všechny zmíněné projekty se zabývaly analýzou krajiny jako celku; na změnu vodních zdrojů se zaměřili Langhammer a Vajskebr (2007). Ve studii „Využití GIS pro analýzu zkrácení říční sítě na základě historických mapových podkladů“ uvádí, že „digitalizace historických mapových podkladů a využití technologie GIS dávají možnost extrahovat z historických kartografických podkladů informace o změnách říční sítě a využít je dále pro geoinformatické hodnocení či jako vstup pro matematické modelování“.

Pro hodnocení změn krajiny a jejích jednotlivých prvků včetně vodních zdrojů je v České republice k dispozici řada mapových podkladů různé přesnosti a rozdílné vhodnosti pro analýzy v prostředí GIS. Podle Veverky (2004) jsou vynikajícím prostředkem pro studium krajiny především státní mapová díla, která dokumentují v jednotném znakovém klíči rozsáhlá území. Pro potřeby této bakalářské práce byla využita následující mapová díla: Mapy 2. a 3. vojenského mapování, mapy Stablního katastru a mapy Generálního štábu ČSA.

3 DATA A METODIKA

3.1 Vymezení a stručná charakteristika území

Tato bakalářská práce vznikla ve spolupráci s Vodohospodářskou společností Dobříš, proto bylo jako zájmové území vybráno okolí měst Dobříš a Nový Knín. Území bylo vymezeno pomocí povodí 4. řádu, které se nachází v blízkém okolí těchto dvou měst. Celé území má rozlohu přibližně 450 km² a je znázorněno na obr. č. 3.



Obrázek 3: Vymezené území

Zdroj dat: Databáze DIBAVOD, Databáze ArcČR

Území leží ve Středočeském kraji jihozápadně od Prahy. Nachází se v nadmořské výšce od necelých 200 m n. m. do 690 m n. m. Do vymezeného území zasahuje část pohoří Hřebeny, které zde tvoří významnou hydrologickou rozvodnici. Nejvýznamnějším vodním tokem v území je řeka Kocába.

3.2 Vstupní data

Veškerá data potřebná pro bakalářskou práci byla shromážděna z několika různých zdrojů. Archivní mapy v digitální podobě zapůjčila Mapová sbírka Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Důležitým zdrojem dat byla databáze DIBAVOD (blíže popsána v kapitole 2.2.2), ze které byly použity tyto vrstvy: A01 - vodní tok (CEVT); A03 - vodní tok (hrubé úseky); A05 - vodní nádrže; A06 - bažina, močál; A07 - hydrologické členění - povodí IV. řádu. Jako podklad pro tvorbu digitálního modelu terénu byly využity vrstevnice z databáze ZABAGED ve formátu DGN. Ostatní data, tj. zaměřenou vodovodní a kanalizační síť města Dobříš a okolí poskytla Vodohospodářská společnost Dobříš.

V následujících kapitolách jsou popsána historická mapová díla, která komplexně pokrývají celou ČR. Kvůli značné nepřesnosti nebylo možné využít Müllerovu mapu a mapy 1. vojenského mapování.

3.2.1 *Müllerova mapa a 1. vojenské mapování*

První soustavné topografické mapování Českých zemí provedl Jan Kryštof Müller na počátku 18. století. Jeho mapa Čech z roku 1720 v měřítku 1 : 132 000 obsahuje zákres sídel, dobové administrativní členění, vodní toky a rybníky, výškopis znázorněný kopečkovou metodou a bohatý tematický obsah (Mikšovský; Zimová, 2006). Müllerovy mapy postupně zastarávaly, proto bylo na základě požadavku tehdejší císařovny Marie Terezie zahájeno tzv. 1. vojenské mapování. Požadavek na rychlost mapování a nízké finanční náklady vedly k použití nenáročné technologie, mapy tak byly vytvářeny bez geodetických základů, navíc i nejednotným způsobem (Mikšovský; Zimová, 2006). Z kartografického hlediska je tento mapový podklad zatížen značnou nepřesností a neumožňuje tak správné georeferencování jednotlivých mapových listů (Langhammer; Vajskebr, 2007).

3.2.2 *2. vojenské mapování*

Již na konci 18. století neodpovídalo první vojenské mapování soudobým požadavkům na přesnost a spolehlivost státního mapového díla. Nedostatky těchto map neodstranila ani revize díla, proto se přistoupilo k novému, 2. vojenskému mapování. Podkladem pro něj se stal zjednodušený obsah ze zmenšených map Státního katastru, což se projevilo v daleko vyšší přesnosti než u map předchozích. Měřítko těchto map bylo 1 : 28 800, ke znázornění výškopisu bylo poprvé použito Lehmannových šraf (Semotanová, 2001). Pro interpretaci map je sice významnou překážkou časové rozpětí vzniku mapového díla (mapování probíhalo v letech 1819 - 1858), přesto však mapy 2. vojenského mapování představují relativně kvalitní podklad využitelný pro GIS analýzy (Langhammer; Vajskebr, 2007).

3.2.3 3. vojenské mapování

Pro vojenské i hospodářské účely postupně přestávala stačit předchozí vojenská mapování, proto se r. 1868 přistoupilo k 3. vojenskému mapování, které v Českých zemích probíhalo až do roku 1880. Jeho základ tvořil soubor rukopisných kolorovaných topografických map v měřítku 1 : 25 000 se zdokonaleným znázorněním reliéfu pomocí kót, šraf a vrstevnic (Semotanová, 2001). Oproti starším podkladům mají mapy kvalitnější tematický obsah a díky omezenému období svého vzniku zachycují homogenní stav krajiny (Brůna, 2003, Cit. In Langhammer; Vajskebr, 2007, str. 156). Z kartografického hlediska představují mapy 3. vojenského mapování velice kvalitní podklad pro georeferencování a analýzu jimi zachycených krajinných prvků (Langhammer; Vajskebr, 2007).

3.2.4 Mapy Stabilního katastru

Roku 1817 vydal císař František I. patent o pozemkové dani a vyměření půdy, tzn. o založení stabilního katastru, který předpokládal geometrické zobrazení všech pozemků. Dosavadní trigonometrická síť z počátku 19. století již však potřebám pozemkového katastru nevyhovovala, byla proto založena nová trigonometrická katastrální síť se středy souřadnicových soustav pro území dnešní České republiky ve vrcholu hornorakouského Gustenbergu a na věži sv. Štěpána ve Vídni. Samotné mapování v Českých zemích proběhlo v letech 1824 - 1843. Pro celé Rakousko - Uhersko měla být pro každou katastrální obec zhotovena samostatná mapa v měřítku 1 : 2 880. Mapy katastrálních obcí zobrazovaly druhově členěné pozemky s parcelními čísly, zástavbu, komunikace a vodní toky a plochy (Semotanová, 2001). Podle Langhammera a Vajskebra (2007) představují tyto mapy nejstarší kvalitní kartografické dílo, které je možné využít pro srovnání změn ve struktuře krajiny a jejích prvků.

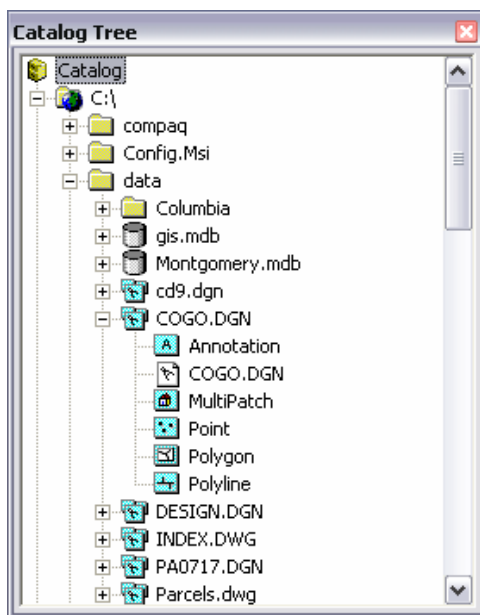
3.2.5 Mapy Generálního štábu ČSA

Mapy Generálního štábu ČSA představují první původní československé kartografické dílo. Pro území ČR byly vytvořeny kartografickým odvozením z podkladů původního mapování v měřítku 1 : 25 000 v období 1952 - 1957, v pozdějších letech byly několikrát obnoveny. V současnosti tyto mapy slouží pro vojenské i civilní využití (Miklošík, 1997). Mapy jsou v Gauss-Krügerově zobrazení a představují vysoce přesný kartografický podklad s bohatým tematickým obsahem vhodným i pro využití pomocí GIS (Langhammer; Vajskebr, 2007).

3.2.6 Datové soubory vodohospodářské infrastruktury VHS Dobříš

Od Vodohospodářské společnosti Dobříš byla získána CAD data se zaměřenou kanalizační a vodovodní sítí města Dobříš a okolí ve formátu DGN. Tato data jsou organizována

v tzv. CAD feature dataset (datová sada CAD, viz obr. 4). Každý dataset obsahuje soubor jednotlivých CAD feature classes (tříd prvků se stejnou geometrií): Annotation, Multipatch, Point, Polygon a Polyline. K nim patří ještě tzv. CAD drawing dataset (na obr. 4 symbolizovaný bílou ikonou), kde jsou vykresleny všechny vrstvy daného datasetu (ESRI, 2008).



Obrázek 4: Znáznění struktury CAD feature dataset v aplikaci ArcCatalog

Zdroj: ESRI, 2008

Formát DGN je softwarem ArcGIS sice podporován, ale pro další práci s ním a pro import těchto dat do File Geodatabase je nutné převést tato data do formátu SHP. K převodu slouží několik nástrojů, z nichž byl vybrán Feature Class to Geodatabase, který potřebné vrstvy převede z formátu DGN do SHP a uloží rovnou v připravené geodatabázi.

3.2.7 Vrstevnice ZABAGED pro tvorbu DMT

Vstupními daty pro tvorbu digitálního modelu terénu byly vrstevnice ve formátu DGN získané z databáze ZABAGED v základním intervalu 2 metry. Pro celé území bylo potřeba celkem 38 mapových listů, které byly před vstupem do DMT dále upravovány.

3.3 Použitý software

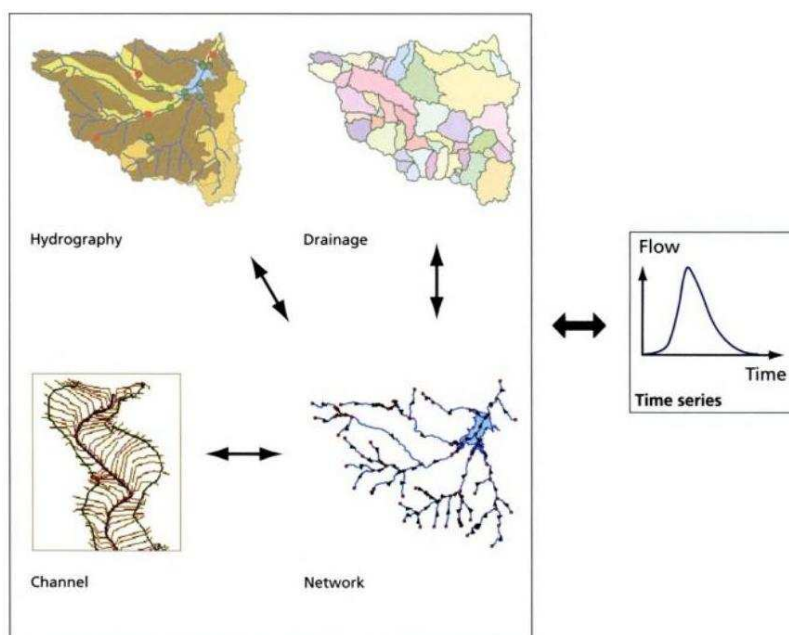
V současnosti je k dispozici nepřeberné množství GIS softwarů, a to od volně stažitelných programů až po specializované GIS s vysokými pořizovacími náklady. Pro zpracování této bakalářské práce byly využity dva programy pracující s prostorovými daty, a to v první řadě ArcGIS verze 9.3 americké firmy ESRI a český software TopoL.

ArcGIS je v současnosti velmi rozšířený produkt americké firmy ESRI (Environmental Systems Research Institute), který funguje již od počátku 80. let 20. století. Představuje široký souhrn programů od desktopových aplikací přes serverové a mobilní geoinformační technologie, případně nabízí nástroje pro tvorbu vlastních aplikací. ArcGIS Desktop obsahuje řadu vzájemně propojených aplikací (ESRI, 2010). Pro potřeby bakalářské práce byla využita verze ArcGIS 9.3 úrovně ArcInfo spolu s extenzemi Spatial Analyst, 3D Analyst a Arc Hydro.

Arc Hydro je extenze pracující na bázi ArcGIS sloužící k hydrologickým analýzám. Vznikla ve spolupráci firmy ESRI a společnosti Center for Research in Water Resources (CRWR) Texaské univerzity v Austinu. Skládá se ze dvou hlavních komponent - Arc Hydro Data Model a Arc Hydro Tools.

V Arc Hydro Data Model jsou zahrnuty pouze základní nástroje pro podporu hydrologických analýz. Pro efektivní uložení hydrologických dat je používán formát Personal Geodatabase (osobní geodatabáze). V rámci datového modelu Arc Hydro je zabezpečena konzistence dat a jejich vzájemná provázanost, což umožňuje efektivní práci s těmito daty. Tento model je určen pouze pro analýzy přírodních vodních systémů; pro analýzy umělých vodních systémů a podpovrchových vod byly vyvinuty dva samostatné datové modely.

Arc Hydro Data Model se skládá z prostorových dat (Hydro Features) spojených s časovými daty (Time Series). Každý objekt v geodatabázi je jednoznačně určen pomocí jedinečného identifikátoru Hydro ID. Model obsahuje pět základních součástí: Network (geometrická síť), Drainage (povodí), Channel (říční kanál), Hydrography (hydrografické informace) a Time Series (časová data) - viz obr. č. 5.



Obrázek 5: Základní součásti Arc Hydro Data Model

Zdroj: Maidment, 2002

Druhou součástí extenze Arc Hydro je panel nástrojů Arc Hydro Tools, který slouží k odvození požadovaných dat z digitálního modelu terénu (Jedlička; Štych, 2007).

Extenze Arc Hydro je spolu s dalšími informacemi k dispozici ke stažení na stránkách CRWR: <http://www.crwr.utexas.edu/giswr/hydro/index.html>.

TopoL je původní český GIS vyvíjený od 90. let firmou Help Service Mapping; v roce 1999 přešla veškerá práva na užívání a šíření technologie na firmu TopoL Software s.r.o. Existuje v několika funkčních variantách od jednoduché prohlížečky dat přes varianty umožňující jednoduchou editaci a analýzu dat až po variantu obsahující všechny běžné funkce GIS, tvorbu DMT a vytváření ortofota. Podrobnější informace pro uživatele jsou uvedeny na internetových stránkách firmy: <http://www.topol.cz>.

3.4 Metodika

Všechny historické mapové podklady byly získány v digitální rastrové podobě z Mapové sbírky Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v rozlišení 200 DPI.

Získané rastrové mapy v nezpracované podobě obsahují významné geometrické nepřesnosti, takže je nelze použít pro další prostorové analýzy. Bylo tedy nutné odstranit tyto nepřesnosti tak, aby obraz získal požadovaný souřadný systém (Dobrovolný, 1998). Po transformaci všech mapových podkladů do souřadného systému S-JTSK následovala vektorizace vodních ploch, vodních toků a mokřadů. Získané vektorové vrstvy ze všech časových období byly následně porovnány a sloužily jako podklad pro analýzu změn vodních zdrojů ve vymezeném území.

3.4.1 Geometrická transformace rastrových map

Proces transformace polohy všech obrazových prvků z jednoho souřadného systému do jiného se nazývá rektifikace. Jedním ze způsobů rektifikace je tzv. registrace - proces, kterým se souřadná soustava jednoho záznamu upraví tak, aby odpovídala souřadné soustavě jiného obrazového záznamu. Pokud je k registrovaným datům dodána informace o absolutní poloze alespoň jednoho obrazového prvku, je tento proces označován jako georeferencování. Tímto procesem se sice mění informace o poloze obrazových prvků, hodnoty jednotlivých pixelů ale zůstávají stejné. Následuje proces geokódování, během kterého jsou obrazová data transformována do určité kartografické projekce a poloha každého pixelu obrazového záznamu je vyjádřena v systému mapových souřadnic. Geokódování se obvykle provádí pomocí sběru vlíčovacích bodů, tj. bodů, jejichž polohu lze přesně určit jak v obraze, který bude transformován, tak v obraze, který má požadovaný souřadný systém. Pro každý vlíčovací bod jsou tak známy dvě souřadnice - zdrojové z transformovaného obrazu a cílové souřadnice ve zvoleném souřadném systému.

Pro stanovení odchylky polohových dat se používá výpočet střední kvadratické chyby (RMS). Jedná se o vzdálenost mezi polohou bodu ve zdrojových souřadnicích a jeho polohou vypočtenou na základě koeficientů transformačních rovnic opět ve zdrojových souřadnicích. Nová poloha pixelu se pak počítá pomocí transformační rovnice - může se jednat o transformaci 1. řádu (dochází k translaci, rotaci a změně velikosti) či vyšších řádů. U transformací vyšších řádů lze získat lepší výsledky pro body v okolí vlíčovacích bodů, ale v místech dále od nich se obvykle vyskytnou výraznější chyby. Minimální počet vlíčovacích bodů pro transformaci jsou 3, pro transformace vyššího stupně je potřeba více bodů.

Pokud RMS chyba dosahuje přípustné hodnoty, může se přistoupit k převzorkování - procesu transformace hodnoty každého obrazového prvku z původní souřadné soustavy do jiné. K převzorkování se používají tři metody; první je Nearest Neighbor (metoda nejbližšího

sousedě), kdy je nová hodnota buňky převzata od nejbližší sousední buňky. U metody Bilinear Interpolation (bilineární interpolace) je nová hodnota buňky počítána jako vážený průměr čtyř nejbližších buněk, zatímco u poslední metody Cubic Convolution (kubické konvoluce) je tento průměr počítán z šestnácti nejbližších buněk. První zmíněná metoda je vhodná pro diskrétní data (např. tematické mapy), poslední metoda je výhodnější pro spojitě a méně ostré výstupy (Štych a kol., 2008).

Pro účely geometrických transformací slouží v softwaru ArcGIS panel nástrojů Georeferencing. Do nového mapového dokumentu se přidá obraz, který bude transformován a rastrová či vektorová vrstva, která má požadovaný souřadný systém. Následuje samotný sběr vlíčovacích bodů; pokud jsou dispozici čtyři vlíčovací body a více, je možné kontrolovat střední kvadratickou chybu (RMS).

Pro georeferencování byly zvoleny dva mapové podklady podle potřebného měřítka: Pro georeferencování map 2. a 3. vojenského mapování a map Generálního štábu ČSA byla využita mapa DMÚ (digitální model území) v měřítku 1 : 25 000, pro podrobnější mapy Stablního katastru Rastrová základní mapa měřítka 1 : 10 000. Do aplikace ArcMap byly obě mapy načteny pomocí služby ArcIMS z geoportálu CENIA. Mapový portál CENIA poskytuje i mapy 2. vojenského mapování v požadovaném souřadném systému; jejich přesnost je ale nižší, proto nebyly pro georeferencování využity. Všechny potřebné mapové podklady byly následně transformovány do souřadného systému S-JTSK.

Pro každý mapový list bylo sebráno 10 až 15 vlíčovacích bodů, nejčastěji se jednalo o výškové body (u map 2. a 3. vojenského mapování), mosty, kostely a křížení významných komunikací (pro mapy Generálního štábu ČSA). Snahou bylo co nejrovnoměrnější rozmístění bodů na mapový list. Přesnost sběru vlíčovacích bodů byla kontrolována pomocí střední kvadratické chyby, která se lišila podle měřítka a kvality geodetických podkladů u jednotlivých map. Pro nejstarší období, tj. 2. a 3. vojenské mapování se pohybovala v rozmezí od 15 do 25 metrů. U map Stablního katastru bylo díky velkému měřítku u většiny mapových listů dosaženo chyby zhruba 1 metr (krajní hodnoty se pohybovaly od 0,5 do 3 metrů). Mapy Generálního štábu ČSA byly transformovány s přesností přibližně 6 metrů. S ohledem na přesnost geodetických podkladů starších map jsou dosažené výsledky pro potřeby této bakalářské práce dostačující.

Transformace byla provedena pomocí transformační rovnice 1. stupně. Pro převzorkování byly vyzkoušeny všechny tři metody a jako nejvhodnější byla zvolena metoda Nearest Neighbor; u zbylých dvou metod byly mapové výstupy silně rozostřené a zrnité (viz obr. 6).



Obrázek 6: Srovnání metod převzorkování: Metoda Nearest Neighbor (vlevo) a Bilinear Interpolation (vpravo)

Zdroj: autor

Pro zpracování map Stablního katastru byl zvolen odlišný postup - jednotlivých mapových listů za katastrální území Dobříš bylo celkem 31, výše uvedený postup geometrické transformace by tak byl časově velmi náročný.

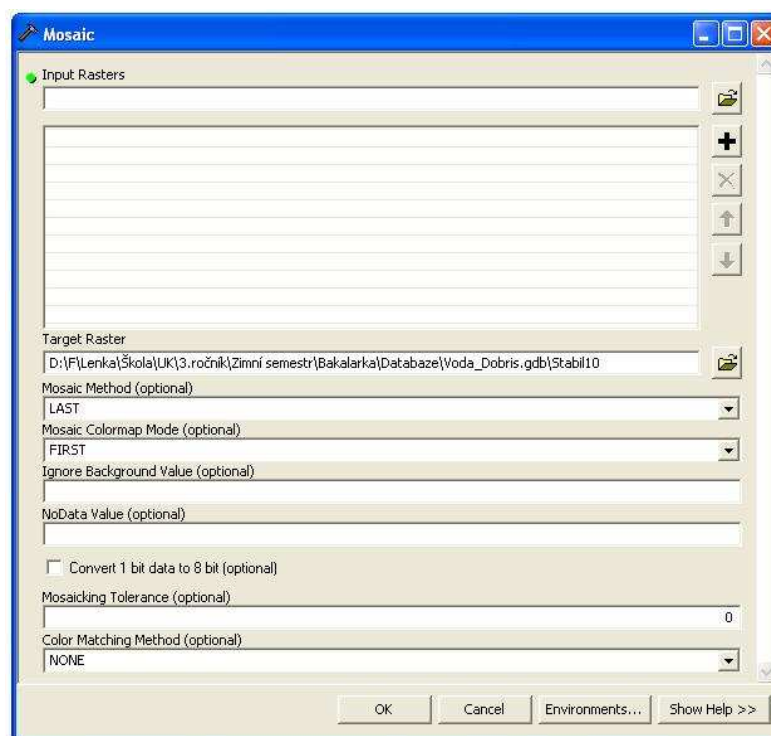
Pro georeferencování mapových listů Stablního katastru byly primárně použity čtyři vlíčovací body, a to souřadnice rohů jednotlivých mapových listů. Souřadnice těchto rohů v S-JTSK byly zjištěny v softwaru TopoL, který obsahuje klad listů Stablního katastru. Další práce probíhaly opět v ArcMapu - vždy byl načten jeden mapový list, do jeho okrajů vepsány souřadnice zjištěné v TopoLu a každý mapový list následně převzorkován výše popsaným způsobem. Protože souřadnice jednoho mapového rohu byly společné až pro čtyři sousední listy, byla tak zajištěna přesná návaznost jednotlivých listů. Tímto způsobem byly zpracovány mapové listy, u kterých byly k dispozici tři nebo čtyři rohy; okrajové listy byly napojeny podle již zpracovaných listů, případně byly sebrány další vlíčovací body podle Rastrové základní mapy ZABAGED.

Po transformaci byly mapové listy 2. a 3. vojenského mapování ořezány pomocí funkce Clip v aplikaci ArcMap. Pro ořezání map Stablního katastru a map Generálního štábu ČSA byl použit software TopoL, který na rozdíl od ArcGISu nabízí možnost přesného ořezání (maskování) rastrů podle jednotlivých mapových listů vybraných souřadných systémů. K tomuto procesu slouží nástroj Maskování. Daná operace proběhne po nastavení požadovaných parametrů (vstupní rastr, souřadný systém, označení vybraného mapového listu, formát a místo a uložení výstupního mapového listu). Všechny transformované a maskované rastry byly spolu s dalšími výsledky práce uloženy ve vytvořené geodatabázi.

Uložení rastrových dat je v softwaru ArcGIS možné dvěma způsoby, v Raster Datasetu nebo Raster Catalogu. Raster Dataset představuje jen jeden rastrový soubor; pokud je

do jednoho datasetu uloženo více rastrů, jsou spojeny do jednoho pomocí tzv. mozaikování. V Raster Catalogu může být rastrů více.

Pro uchování získaných a již transformovaných mapových podkladů byly založeny celkem tři Raster Datasets (pro 2. vojenské mapování, Stablní katastr a mapy Generálního štábu ČSA); tento formát byl zvolen z důvodu existence více mapových listů pro každé časové období. Tyto listy mohou být díky mozaikování v Raster Datasetu spojeny do jednoho. Pro každý dataset byl nastaven počet kanálů a souřadný systém S-JTSK_Krovak_East_North (Křovákovo zobrazení v souřadném systému S-JTSK). Pro spojení dvou rastrů s definovaným souřadným systémem bylo využito funkce Mosaic (viz obr. 7), kam byly načteny vždy dva rastry ke spojení (je možné načíst najednou i více rastrů, ale to bývá často problematické, je tedy lepší postupovat pouze po dvou).



Obrázek 7: Funkce Mosaic pro spojení dvou rastrů v aplikaci ArcCatalog

Přehled všech parametrů pro mozaikování je vidět na obr. 7, po jejich nastavení je možné přistoupit k samotnému mozaikování.

Pouze pro uložení mapových listů 3. vojenského mapování byl použit Raster Catalog; jednotlivé listy tohoto mapování byly zřejmě z důvodu špatného skenování uchovány v různých formátech. Stěžejním problémem byl různý počet kanálů u jednotlivých listů, který neumožňoval mozaikování v jednom Raster Datasetu.

3.4.2 Vektorizace

Převod rastrových map do vektorové podoby umožňuje proces vektorizace. V současnosti se nejčastěji využívá způsobu vektorizace na obrazovce („on the screen“), kdy je poloha objektů snímána přemísťováním kurzoru myši na displeji. Pro tvorbu ucelené databáze prostorových dat je zapotřebí zajistit i vstup atributových údajů, které podávají informace o názvech a vlastnostech nově vytvořených objektů či vztazích mezi nimi. Nezbytné je také dodržování topologických pravidel (nedotahy, přetahy čar apod.) a závěrečná kontrola obsahové přesnosti, tj. zda nedošlo k vynechání některých objektů, jejich nesprávnému označení či umístění (Štych a kol., 2008).

Pro vektorizaci v aplikaci ArcMap slouží panel nástrojů Editor, ve kterém se spouští a vypíná editace, volí cílová vrstva, nástroj editace a případně další funkce. Před začátkem samotného kreslení je vhodné nastavit si parametry přichytávání jednotlivých vrstev - tzv. Snapping, který se nachází v hlavní nabídce panelu Editor.

Pro potřeby bakalářské práce byly vektorizovány vodní toky, u kterých byl do atributové tabulky zaznamenán název toku, vodní plochy, kde byl ukládán název plochy, a mokřady. Po skončení vektorizace byl v atributové tabulce u vodních toků vytvořen sloupec *delka_km* a pomocí nástroje Calculate Geometry spočítána délka pro jednotlivé toky. Obdobně u vodních ploch a mokřadů byl vytvořen sloupec *plocha_ha* a vypočtena výměra. Všechny tyto vektorové vrstvy byly spolu s dalšími výsledky práce uloženy ve vytvořené geodatabázi.

Pro ukládání vektorových dat slouží Feature Dataset - datová sada, ve které mohou být uloženy jednotlivé třídy prvků (Feature Class). Třída prvků je vektorová vrstva, která může obsahovat vždy jeden typ geometrických objektů (nejdůležitějšími z nich jsou bod, linie a polygon). Datová sada má mnoho výhod - např. lze v jejím rámci vytvářet topologii nebo definovat souřadný systém, který je platný pro všechny třídy prvků v datasetu.

3.4.3 Uložení dat

Jedním z cílů bakalářské práce je navržení informačního systému, který bude spravovat vytvořené vektorové vrstvy vodních zdrojů, zpracované digitální mapové podklady a datové soubory vodohospodářské infrastruktury používané Vodohospodářskou společností Dobříš.

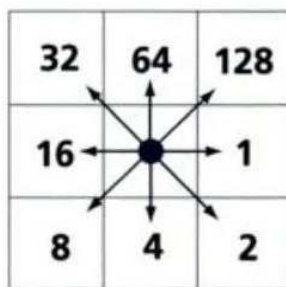
Pro efektivní správu a práci s prostorovými daty je nutné mít tato data uložená a strukturovaná. Uspořádaná množina dat uložená na paměťovém médiu se podle Klimánka (2007b) nazývá databáze. Pokud je databáze uzpůsobena pro ukládání prostorových dat, jedná se o geodatabázi (Štych a kol., 2008). Software ArcGIS nabízí celkem tři typy geodatabází: Personal Geodatabase, File Geodatabase a ArcSDE Geodatabase. Pro potřeby práce byla zvolena File Geodatabase, která má proti Personal Geodatabase několik výhod. Z nich je stěžejní velikost databáze - u Personal Geodatabase je limit 2 GB, pro efektivní práci však

pouze 250 - 500 MB, na rozdíl od File Geodatabase umožňující uložení až 1 TB (ESRI, 2009a). Ve vytvořené geodatabázi lze vytvářet nové třídy prvků (Feature Classes) a datové sady prvků (Feature Datasets), které usnadňují další orientaci v databázi. File Geodatabase byla vytvořena jednoduchým příkazem v aplikaci ArcCatalog a pojmenována *Voda_Dobris*. Do geodatabáze budou uložena všechna vytvořená data strukturovaná podle svého formátu ve Feature Datasetu (vektorová data) a Raster Datasetu či Raster Catalogu (rastrová data).

3.5 Modelování akumulace vody v GIS

Software ArcGIS 9.3 nabízí širokou škálu nástrojů pro hydrologické modelování. Základní z nich jsou zastoupeny v extenzi Spatial Analyst a 3D Analyst, rozšířené možnosti pak nabízí extenze Arc Hydro. Základem pro hydrologické modelování je dostatečně kvalitní digitální model terénu s potřebným rozlišením. Z něj je poté odvozen rastr směru odtoku (Flow direction raster), který slouží jako vstupní vrstva pro rastr akumulace vody (Flow accumulation raster).

Všechny hydrologické analýzy v softwaru ArcGIS vychází z předpokladu, že voda teče vždy dolů a pro svou cestu si vybírá místo největšího sklonu. V rastrovém modelu je každá buňka obklopena osmi jinými buňkami a podle sklonu může voda z dané buňky vytékat právě do jedné z těchto buněk, kde je sklon největší. Výsledný směr odtoku je podle světových stran zakódován takto (viz obr. 8): 1 - východ, 2 - jihovýchod, 4 - jih, 8 - jihozápad, 16 - západ, 32 - severozápad, 64 - sever a 128 - severovýchod (Maidment, 2002).



Obrázek 8: Model odtoku vody z buňky

Zdroj: Maidment, 2002

3.5.1 Tvorba DMT

ArcGIS nabízí šest základních interpolačních algoritmů: IDW (Inverse Distance Weighted), Kriging, Natural Neighbor, Spline, Topo to Raster a Trend. Pro hydrologické modelování je doporučen algoritmus Topo to Raster, který byl specificky navržen pro vytvoření hydrologicky korektního DMT. Tento algoritmus je primárně přizpůsoben pro práci s vrstevnicovými daty a jeho základní myšlenka vychází z předpokladu, že hlavním faktorem ovlivňujícím tvar terénu

jsou hydrologické procesy. Pro zpřesnění interpolace je možné použít další data, která jsou pro dané území k dispozici. Jedná se zejména o říční síť, břehové linie jezer a hranici zájmového území (Štych a kol., 2008).

Vstupními daty pro tvorbu DMT byly vrstevnice po 2 metrech získané z databáze ZABAGED ve formátu DGN. Nejprve byly vybrány všechny listy, které pokrývají dané území (celkem 38 listů) a převedeny do potřebného formátu SHP pomocí nástroje Import from CAD. Tento nástroj všechny vybrané mapové listy spojí do jednoho a uloží ve formátu SHP. Pro vytvoření DMT je nutný sloupec s údaji o nadmořské výšce pro každou vrstevnici; ten se získá připojením tabulky Entity, která je uložena ve vytvořené databázi spolu s vrstevnicemi. Propojení je provedeno pomocí identifikátoru ID příkazem Join; pro další práci s vrstvou je vhodnější si sloupec Elevation zkopírovat a propojení s tabulkou zrušit. Poslední úpravou je oříznutí vrstevnic podle zájmového území provedené nástrojem Clip z ArcToolboxu.

Vstupní vrstva pro další hydrologické analýzy musí být v rastrovém formátu. Z výše uvedených důvodů byl pro tvorbu DMT zvolen interpolační algoritmus Topo to Raster s výsledným rozlišením 10 metrů (vzhledem k velikosti vymezeného území a parametrům použitého PC nebylo lepší rozlišení možné). Vstupní vrstvou byly upravené vrstevnice ve formátu SHP.

DMT často obsahuje bezodtoké deprese (v anglické literatuře označovány sinks nebo pits), představované buňkami, které jsou níže než okolní buňky a voda z nich tudíž nemůže nikam odtékat. Může se jednat o skutečné sníženiny terénu, většinou však jde o chyby v interpolaci (Voženílek a kol., 2001). Pro odstranění bezodtokých depresí byl použit nástroj Fill Sinks; po jeho aplikaci byly bezodtoké oblasti zvýšeny tak, aby dosahovaly úrovně svého okraje (Jedlička; Štych, 2007).

3.5.2 Flow direction raster

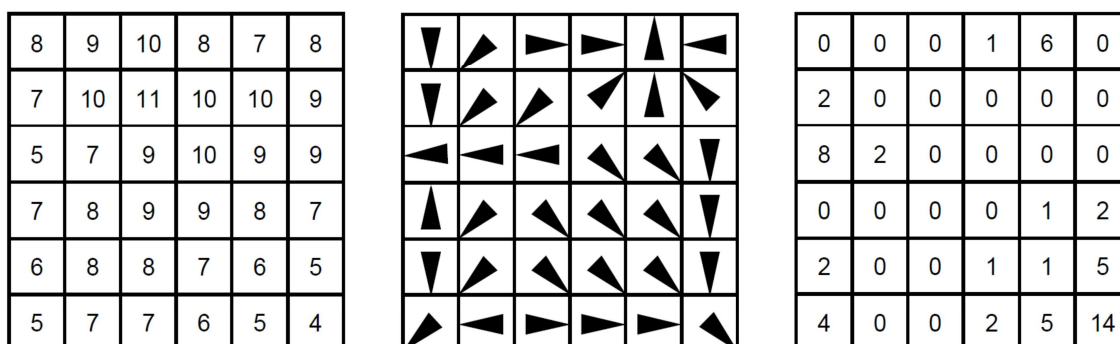
Flow direction raster určuje směr odtoku z buňky. Výpočet funguje na principu posuvného okna o velikosti 3 x 3 buňky, kde se v rámci tohoto okna se určí buňka s nejnižší hodnotou nadmořské výšky. Tento proces se opakuje pro všechny buňky rastru a následně je buňkám přiřazen směr odtoku (Jedlička; Štych, 2007).

Vstupní vrstvou pro tvorbu flow direction rastru je rastrový DMT vytvořený v předchozím kroku. Jednotlivé směry odtoku vody nabývají podle světových stran hodnot 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 a 128, jak je popsáno v úvodu kapitoly 3.5.

3.5.3 Flow accumulation raster

Výpočet rastru akumulace vody vychází z předchozího rastru směru odtoku. Hodnota buňky tohoto rastru udává počet buněk, ze kterých do ní přitéká voda. Tento princip je znázorněn

na obr. č. 9, kde vlevo je rastr s nadmořskou výškou, uprostřed z něj odvozený rastr směru odtoku a vpravo výsledný rastr akumulace vody.



Obrázek 9: Princip tvorby rastru směru odtoku a rastru akumulace vody

Zdroj: Jedlička; Mentlík, 2002

Tento rastr může být vstupem pro další analýzy - je možné k němu přidat rastr plošného rozložení srážek v území, výsledný rastr pak reprezentuje akumulaci dešťové vody v území při zanedbání intercepce a evapotranspirace (ESRI, 2009b).

4 VÝSLEDKY

4.1 Interpretace starých map pro analýzu změn vodních zdrojů

Pro kvalitní interpretaci vodních toků a ploch z historických map bylo nutné předchozí nastudování legendy k daným mapám. Vzhledem ke stáří map 2. a 3. vojenského mapování nastal v některých oblastech problém s interpretací jednotlivých mapových prvků. Místy se lze setkat s vyblednutím modré barvy vodních ploch až k barvě podkladu a ztmavnutím břehové linie (viz obr. 10). Mohou tak nastat obtíže s rozpoznáním vodní plochy na mapě.



Obrázek 10: Znárodnění vodních ploch na mapách 2. vojenského mapování

Zdroj: <http://projekty.geolab.cz/cd/klic2.htm>

Podobně u vodních toků na mapách vojenských mapování byla jejich identifikace v určitých místech obtížná - v některých částech map došlo k vyblednutí linie toku až k barvě podkladu nebo naopak ke zčernání původně modrého pigmentu tak, že hrozí záměna za linie znázorňující cesty nebo ohraničující jednotlivé kultury. Podle Vichrové (2006) lze interpretaci vodních toků a ploch z těchto map považovat za jednu z nejobtížnějších.

Naopak Stablní katastr se ukázal jako velmi vhodný podklad pro vektorizaci vodních toků a ploch; jeho nevýhodou je však vysoká náročnost georeferencování a vektorizace (zejména pro větší území), proto bylo pro účely práce zpracováno pouze jedno katastrální území. Stejně tak na mapách Generálního štábu ČSA byly vodní toky i plochy velmi dobře rozpoznatelné.

4.2 Změny vodních toků

U vodních toků bylo hodnoceno jejich zkrácení. Výběr toků byl proveden podle vrstvy hrubých vodních toků z databáze DIBAVOD - z 22 vybraných toků byly 2 vyřazeny (v mapách vojenského mapování nešly zcela rozpoznat), zůstalo tak 20 vodních toků o celkové délce necelých 170 km. Jedná se vždy o celý tok od pramene k ústí. Pokud ve vymezeném území ležela jen část toku, byla ohraničena soutokem s jiným vodním tokem. Výsledné délky jednotlivých vodních toků jsou uvedeny v tabulce č. 1. Do tohoto srovnání nebyly zahrnuty mapy Stablního katastru - zejména kvůli tomu, že zpracované mapy pokrývají jen část zájmového území a také z důvodu odlišného měřítka. Stablní katastr se zpracovával hlavně pro potřeby hodnocení změn vodních ploch na území katastru Dobříš. Z vybraných toků se celou svou délkou na území pokrytém mapami Stablního katastru nacházel pouze Lipížský potok, jehož délka je zde pro srovnání také uvedena.

Tabulka 1: Délky vybraných vodních toků za jednotlivá období

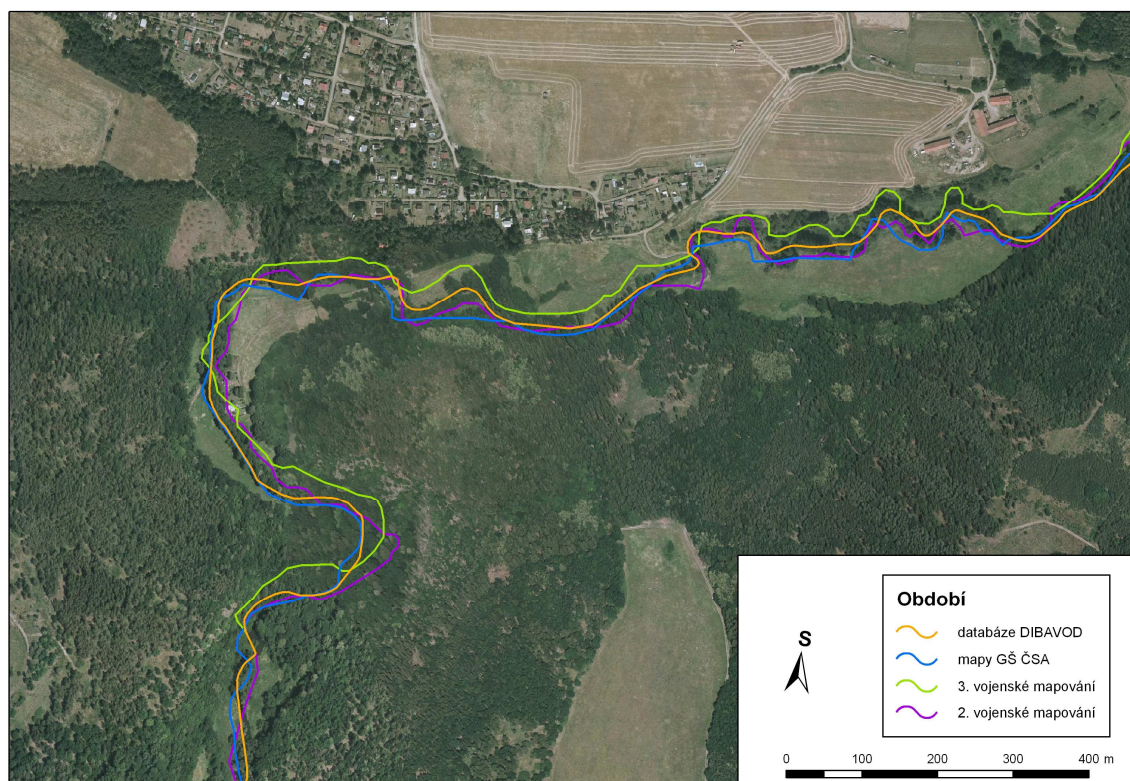
ID	Název	délka [km]				
		DIBAVOD	Mapy GŠ ČSA	3. vojenské mapování	2. vojenské mapování	Stablní katastr
1	Bojovský p.	18,4	18,5	18,8	18,8	
2	Borotický p.	3,4	3,3	3,4	3,5	
3	Čelinský p.	9,8	9,5	10,0	10,3	
4	Drhovský p.	3,5	3,5	3,7	3,6	
5	Halounský p.	4,3	4,2	4,2	4,6	
6	Hubenovský p.	1,9	1,9	2,0	1,9	
7	Chlumecký p.	6,3	6,2	6,4	6,6	
8	Chumava	12,8	12,6	13,2	13,4	
9	Jalovčí p.	2,7	2,7	2,6	2,6	
10	Kocába	26,0	26,3	27,1	27,6	
11	Lipížský p.	3,2	3,2	3,0	3,3	3,6
12	Meredský p.	7,3	7,2	7,4	7,5	
13	Moklický p.	5,2	5,1	5,5	5,3	
14	Novodvorský p.	4,3	4,4	4,4	4,5	
15	Novoveský p.	6,9	6,9	6,8	7,0	
16	Radič	4,7	4,6	4,7	4,9	
17	Svinařský p.	8,3	8,3	8,9	9,0	
18	Sychrovský p.	19,8	19,8	20,6	21,2	
19	Trnovský p.	7,9	7,8	8,0	8,5	
20	Voznický p.	12,5	12,2	12,6	13,2	
	CELKEM	169,0	168,1	173,2	177,0	3,6

Z tabulky č. 1 je vidět, že zkoumané toky byly za posledních 150 let zkráceny celkem o 8 km, tj. o 4,5 % své původní délky. Mezi 2. a 3. vojenským mapováním nebyla změna délek vodních toků příliš výrazná, celkově se jednalo o necelé 4 km. Z jednotlivých toků v tomto

období zkrácení nejvíce zasáhlo Voznický potok, Trnovský potok, Sychrovský potok a řeku Kocábu, kde se zkrácení na jednotlivých tocích pohybovalo mezi 500 a 600 metry. Nejvýraznější zkrácení vodních toků bylo zaznamenáno v období mezi 3. vojenským mapováním a mapami Generálního štábu ČSA, tj. v 1. polovině 20. století. Vybrané toky byly zkráceny celkem o 5 km, z toho nejvýraznější zkrácení lze pozorovat u Sychrovského potoka (o 830 m) a u řeky Kocáby (o 790 m). Ve druhé polovině 20. století již nebyly změny v délce toků tolik výrazné, u některých toků délka dokonce vzrostla.

Celkově nejvýraznější zkrácení od dob 2. vojenského mapování do současnosti zaznamenaly řeka Kocába (1,6 km), Sychrovský potok (o 1,4 km) a Voznický potok (o 0,7 km). Tyto toky ve vymezeném území patří k nejdelším; pokud je zkoumáno zkrácení toku vzhledem k jeho délce, tak největších změn dosáhly Trnovský, Halounský a Svinařský potok (zkráceny přibližně o 7,5 % své původní délky).

Rozdíly v délce vodních toků jsou místy viditelné i při pouhém vizuálním porovnání - na obr. č. 11 je vidět změna vedení koryta v čase u části toku Kocáby. V období 2. vojenského mapování zde řeka výrazně meandruje, podobně teče i podle map 3. vojenského mapování, i když meandrů je zde již méně. Na mapách Generálního štábu ČSA už je tok výrazně narovnan a podobně vypadá i v současnosti.



Obrázek 11: Změna toku řeky Kocáby od 2. vojenského mapování do současnosti

Zdroj podkladových dat: Ortofoto s rozlišením 0,5 m z Geoportálu CENIA

4.3 Změny vodních ploch

Do hodnocení změn vodních ploch byly zahrnuty plochy, které alespoň v jednom ze zkoumaných období dosahovaly rozlohy nejméně 1 ha a zároveň se vyskytovaly ve všech obdobích. Tímto výběrem se předešlo špatné interpretaci, která by mohla být způsobena nemožností identifikace některých ploch (viz kapitola 4.1). Z oblasti pokryté mapami Stablního katastru bylo pro srovnání přidáno 5 rybníků. Výsledné plochy za jednotlivá období znázorňuje tabulka č. 2.

Tabulka 2: Rozloha vybraných vodních ploch za jednotlivá období

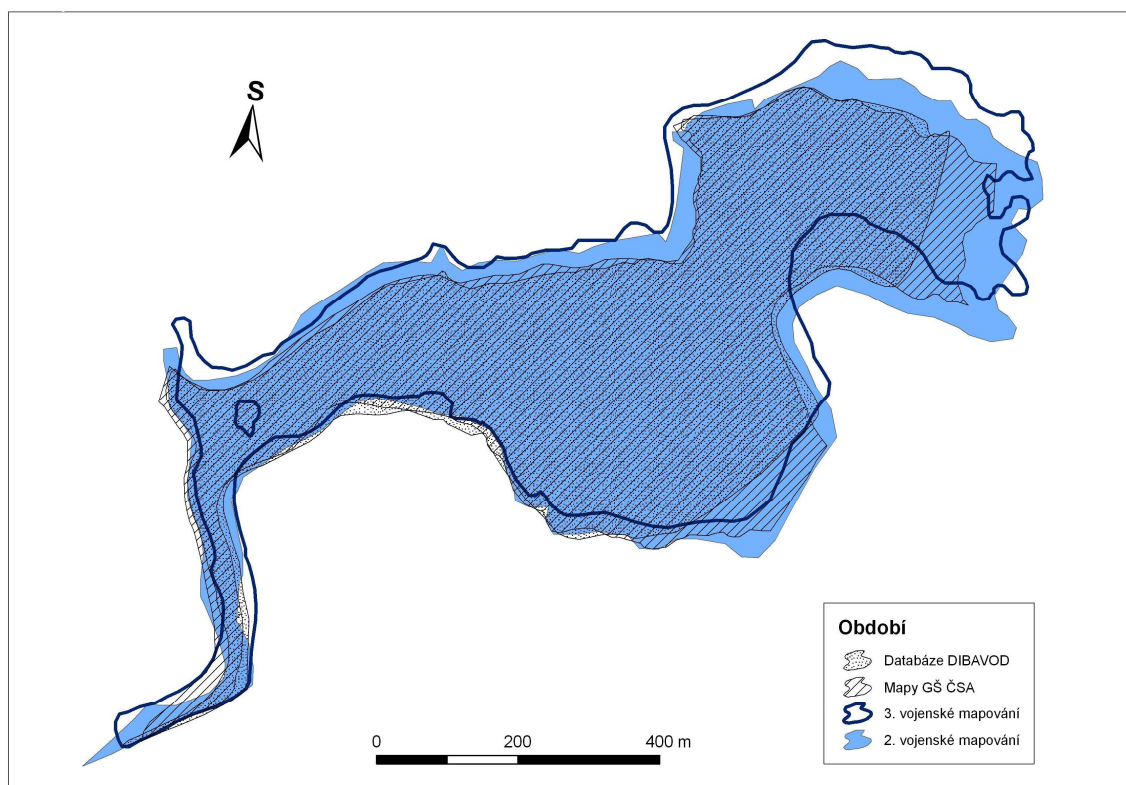
ID	Název	plocha [ha]				
		DIBAVOD	Mapy GŠ ČSA	3. vojenské mapování	2. vojenské mapování	Stablní katastr
1	Dolní ryb.	2,2	3,8	1,4	4,1	
2	Drhovecký ryb.	0,6	0,2	1,7	1,8	
3	Drhovský ryb.	10,0	6,1	10,7	11,1	
4	Hořejší ryb.	1,4	1,4	1,3	1,4	
5	Huťský ryb.	31,1	33,9	37,9	41,1	38,7
6	Komora 1	1,5	1,7	1,6	2,0	
7	Komora 2	1,1	0,7	1,0	1,3	1,2
8	Koryto	6,4	5,7	7,0	6,9	8,1
9	Lhotecký ryb.	2,3	3,0	4,3	4,7	
10	Mlýnský ryb.	1,0	1,5	1,2	0,6	
11	Nový ryb.	19,2	17,5	20,9	19,1	
12	Papež	14,6	14,2	15,4	18,2	18,0
13	Pařezitý ryb.	3,1	3,3	5,1	6,4	
14	Prostřední ryb.	2,3	1,7	2,2	2,0	
15	Prostřednolhotský ryb.	2,9	3,7	4,8	4,9	
16	Příkop	1,9	1,7	2,6	2,4	
17	Pustý ryb.	5,4	5,5	5,8	8,0	
18	Strž	15,3	13,6	17,0	17,5	
19	Svatopolský ryb.	12,6	10,9	15,0	18,2	
20	Sychrovský ryb.	16,5	17,5	18,6	19,4	
21	Sýkorník	12,9	12,0	13,9	16,7	
22	Vackův ryb.	11,2	9,2	16,1	17,3	
23	Velký ryb. (na Chumavě)	1,1	3,0	1,1	1,6	
24	Velký ryb. (na Voznickém p.)	3,4	0,5	4,1	4,3	4,4
25	Vltava (v.n. Slapy)	131,1	131,3	39,4	45,3	
26	Zadní ryb.	2,0	1,0	1,6	1,9	
27	Zámecký ryb.	3,5	3,2	3,2	4,0	
	CELKEM	316,8	307,7	254,9	282,1	70,4
	CELKEM bez Vltavy	185,7	176,4	215,5	236,8	70,4

Změny vodních ploch v území výrazně zkresluje vodní dílo Slapy na řece Vltavě, které částečně zasahuje do zkoumaného území. Dílo bylo uvedeno do provozu v r. 1955 a na mapách Generálního štábu ČSA je již zaznamenáno, z celkového porovnání vodních ploch však bylo vyřazeno.

Úbytky vodních ploch v jednotlivých časových obdobích mají podobný vývoj jako změny u vodních toků. Mezi 2. a 3. vojenským mapováním rozloha mírně klesla (o 21 ha, tj. 9 % z jejich původní rozlohy), největší pokles rozlohy byl opět v 1. polovině 20. století (o 40 ha, tj. 18 % z původní rozlohy a téměř dvojnásobek oproti minulému období) a v 2. polovině 20. století rozloha většiny vodních ploch stagnuje či mírně roste (celkový nárůst o 9 ha).

Největší absolutní zmenšení ploch bylo zaznamenáno u Hutského rybníka (10 ha), Vackova rybníka (6 ha) a Svatopolského rybníka (5,6 ha). Vzhledem ke své velikosti byl nejvíce zmenšen Drhovecký rybník, a to o 63 % své původní velikosti. Následují Lhotecký a Pařezitý rybník zmenšené o více než polovinu původní rozlohy.

Dobře pozorovatelné jsou také změny tvaru jednotlivých vodních ploch v průběhu času - od velmi členité břehové linie z období 2. vojenského mapování až po jednoduchý tvar vodní plochy ze současnosti (viz obr. 12).



Obrázek 12: Změna rozlohy Hutského ryb. od 2. vojenského mapování do současnosti

Z důvodů velmi obtížné interpretace mokřadů z map vojenských mapování byly pro analýzu změn mokřadů v území použity jen mapy Generálního štábu ČSA a databáze DIBAVOD. Na mapách GŠ ČSA byla celková rozloha mokřadů 49,3 ha, zatímco podle databáze DIBAVOD je jejich současná rozloha 56 ha. Plocha mokřadů tak sice narostla, ale ne nijak výrazně.

4.4 Akumulace vody v území









Výsledný rastr akumulace vody znázorňuje místa, kde se ve vymezeném území hromadí nejvíce vody. Logicky tak z výsledného rastru vystupují vyvýšeniny a hřebety jako místa s nízkou hodnotou akumulace (výběžek pohoří Hřebený v severozápadní části území) a níže položená místa s poměrně hustou říční sítí. Projevil se zde vliv nástroje Fill Sinks - bez jeho použití byly ve výsledném rastru více vidět drobnější vodní toky, zatímco po aplikaci nástroje se zdůraznily nejdůležitější toky odvodňující dané území (zejména řeka Kocába). Vytvořený rastr akumulace vody je zobrazen v příloze.

Z hotového rastru lze vyčíst mnoho informací o akumulaci vody v území. Jednoznačně nejvíce vody se hromadí ve východní části území v místě, kde ho opouští řeka Kocába. Dále je množství vody akumulováno v Sychrovském potoce, který odvodňuje jihozápadní část území, čehož využívá množství rybníků napájených tímto tokem. V severní části území oddělené výběžkem Hřebenů je nejvíce vody odváděno Bojovským potokem, Svinařským potokem a Chumavou. Většina vodních ploch ve vymezeném území leží právě na těchto tocích, jedinou výjimkou je Kocába, na které se žádná nádrž nenachází.

4.5 Navržený datový model

Veškerá vytvořená data byla uložena v geodatabázi typu File Geodatabase nazvané *Voda_Dobris* a strukturována podle typu uložených dat. V rámci geodatabáze byly vytvořeny dva Feature Datasets - první nazvaný *Voda_mapy*, ve kterém byla uložena vždy liniová vrstva vodních toků a polygonová vrstva vodních ploch za všechna sledovaná časová období (tj. za 2. a 3. vojenské mapování, mapy Generálního štábu ČSA a současná síť vodních toků z databáze DIBAVOD) a polygonová vrstva mokřadů za dvě časová období (mapy Generálního štábu ČSA a databáze DIBAVOD). Druhý Feature Dataset pojmenovaný *Infrastruktura* byl naplněn vodohospodářskými daty získanými od VHS Dobříš. U obou datasetů byl nastaven souřadný systém S-JTSK_Krovak_East_North (Křovákovo zobrazení v souřadném systému S-JTSK). Transformované, ořezané a spojené mapové listy 2. vojenského mapování, Stablního katastru a map Generálního štábu ČSA byly uloženy každý zvlášť v Raster datasetu, pouze listy 3. vojenského mapování byly z důvodu odlišného formátu jednotlivých listů uloženy v Raster Catalogu. Tento stav není konečný; v budoucnu mohou být přidány jak další datasety, tak třídy prvků a již vložená data mohou být neustále aktualizována. Struktura geodatabáze *Voda_Dobris* je znázorněna v tabulce č. 3.

Tabulka 3: Struktura uložení dat v navržené geodatabázi

Název	Typ	Obsah
 Voda_mapy	Feature Dataset	10 vektorových vrstev ve formátu SHP znázorňujících vodní toky, vodní plochy a mokřady za zkoumaná časová období
 Infrastruktura	Feature Dataset	112 vektorových vrstev vodohospodářské infrastruktury ve formátu SHP
 TretiVM	Raster Catalog	7 nespojených mapových listů 3. vojenského mapování
 DruheVM	Raster Dataset	6 mapových listů 2. vojenského mapování spojených pomocí mozaikování
 Stabil	Raster Dataset	31 mapových listů Stablního katastru spojených pomocí mozaikování
 mapy_G5	Raster Dataset	11 mapových listů map Generálního štábu ČSA spojených pomocí mozaikování
 akumulace	Raster Dataset	Rastr akumulace vody v území ve formátu FGDBR (File Geodatabase raster format)
 DMT	Raster Dataset	Digitální model terénu s rozlišením 10 metrů interpolovaný metodou Topo to raster ve formátu FGDBR

5 DISKUSE

Na přesnost zjištěných hodnot změn vodních zdrojů ve vymezeném území má vliv několik parametrů. Prvním z nich je přesnost geodetických podkladů historických map, zejména u obou vojenských mapování. Při jejich georeferencování se RMS chyba pohybovala kolem 20 metrů, pro srovnání Mikšovský a Zimová (2006) uvádí v rámci projektu „Georeferencování a kartografická analýza historických mapování Čech, Moravy a Slezska“ u druhého vojenského mapování přesnost přibližně 50 m. Také je nutné brát v úvahu generalizaci odpovídající měřítku map, ze kterých byly vektorizovány vodní toky a plochy. Z tohoto důvodu nebyly do analýzy změn vodních zdrojů zahrnuty mapy Stablního katastru s měřítkem o řád větším. Měřítko map a průměr dosažených RMS chyb jsou shrnuty v tabulce č. 4.

Tabulka 4: Měřítko a dosažená RMS chyba u zkoumaných mapových děl

Mapy	Měřítko	RMS chyba
2. vojenské mapování	1 : 28 800	17,72
3. vojenské mapování	1 : 25 000	18,74
Stablní katastr	1 : 2 880	1,24
Mapy GŠ ČSA	1 : 25 000	5,54
DIBAVOD	1 : 10 000	

Pro tuto bakalářskou práci bylo stěžejní názorně předvést, jakým způsobem mohou geoinformační systémy a jejich nástroje přispět v problematice vodního hospodářství a hydrologie. Proto byly u analýzy změn vodních zdrojů použity pouze jednoduché ukazatele, jako je změna délky a plochy. Z vytvořených vektorových vrstev by změny vodních zdrojů v území mohly být zkoumány ještě mnoha jinými způsoby, např. pomocí ukazatele hustoty říční sítě. To však již přesahuje rámec práce.

Z fyzickogeografického hlediska by bylo možné rozdělit hodnocené vodní toky na více úseků, jak provedli Langhammer a Vajskebr (2007) ve své studii „Využití GIS pro analýzu zkrácení říční sítě“. Autoři zde však hodnotili daleko rozsáhlejší říční síť a delší vodní toky, kde mělo dílčí dělení toků své opodstatnění. Tito autoři také zavádí koeficient zohledňující „nepřesnosti vyplývající z primární odlišné povahy dat“. Sami ale uvádí, že „užití koeficientů je problematické, protože dochází k nevýběrovému zkreslení délek všech toků, tzn. jsou změněny i délky, které mohou být reprezentativní“ (Langhammer; Vajskebr, 2007, s. 158).

Zmínění autoři využili pro analýzu zkrácení říční sítě stejné mapové podklady, jaké byly využity i pro tuto bakalářskou práci; zjištěné trendy ve změnách délek vodních toků je tak s nimi možné porovnat. V prvních dvou časových obdobích je zjištěný vývoj stejný - mezi 2. a 3. vojenským mapováním dochází k méně výraznému zkrácení říční sítě, zatímco v 1. pol. 20. století jsou změny nejvýraznější. V druhé pol. 20. století autoři udávají další

zkrácení toků, což s výsledky práce souhlasí jen zčásti. Zjištěné změny v 19. století a v 1. pol. 20. století souhlasí i s trendem, který uvádí Němec a kol. (2006) (viz kapitola 1.1.1). Autor zde také uvádí, že úpravy toků vyvrcholily v 70. a 80. letech, což se ve výsledcích práce neodrazilo. Důvodů může být více, hlavním z nich je pravděpodobně již zmíněné podrobnější měřítko u dat z databáze DIBAVOD. Řešením by mohlo být užití jiného zdroje mapy vodních toků.

Pokles rozlohy vodních ploch v období mezi 2. a 3. vojenským mapováním i v 1. pol. 20. století reflektuje „všeobecný trend rušení rybníků, zejména v zemědělsky úrodnějších oblastech a na příhodnějších lokalitách“, který uvádí Němec a kol. (2006, s. 114). Stejný autor uvádí i fakt, že současným trendem je mírné zvětšování rybníčních ploch, což zjištěné údaje potvrzují.

U mokřadů byl podle Němce a kol. (2006) v 2. pol. 20. století očekávaný pokles rozlohy, který se však neprokázal - podle výsledných hodnot narostla plocha mokřadů v území o necelých 7 hektarů. Tento rozpor mohl být způsoben více faktory, např. již zmíněným nestejným měřítkem datových zdrojů - detailnějším měřítkem databáze DIBAVOD.

Z hlediska akumulace vody v území nejsou poměry Dobříšska nijak příznivé. Území je dotováno atmosférickými srážkami a pouze v omezené míře povrchovým přítokem od jihozápadu, kde do území přitéká Kotenčický potok a řeka Kocába. Jako hlavní zdroje pitné vody jsou zde využívány zčásti povrchové zdroje, pro zásobování domovních studní je využíván mělký oběh podzemní vody a jako kvalitní zdroj slouží zejména hlubší oběh podzemní vody jímány vrtanými studněmi. Přesto je však pro rozvoj města Dobříš a okolí nutné posílení stávajících zdrojů a vybudování dalších (Vacek a kol., 2005). K určení vhodného místa pro vybudování přehrad (povrchových vodních zdrojů) je nutné zajistit zde dostatečnou akumulaci vody. Zde by mohl posloužit Flow accumulation raster znázorňující množství vody akumulované v území. Spolu s dalšími podklady (např. s hydrogeologickou mapou) by tento výstup mohl sloužit jako podklad pro určení potenciálních vodních zdrojů v regionu.

Vytvořená geodatabáze se všemi daty byla předána Vodohospodářské společnosti Dobříš, která bude data nadále využívat. Protože náklady na zavedení komerčního softwaru ArcGIS jsou pro menší vodohospodářské společnosti příliš vysoké, řešením může být nekomerční, volně stažitelný GIS. Takovým je např. GRASS GIS, oficiální projekt organizace Open Source Geospatial Foundation, který umožňuje práci s rastrovými i vektorovými daty (více na internetových stránkách <http://grass.itc.it/>). Projektem této organizace je i volně stažitelný software Quantum GIS (<http://qgis.org/>). Z českých freeware GIS stojí za zmínku Janitor, systém samostatně pracujících a vzájemně propojitelných aplikací vyvinutý laboratoří LabGIS CENIA (<http://janitor.cenia.cz>). Z prohlížečů prostorových dat lze využít např. ArcGIS Explorer firmy ESRI (více informací na [www stránkách http://www.esri.com/software/arcgis/explorer/index.html](http://www.esri.com/software/arcgis/explorer/index.html)). Všechny z uvedených softwarů jsou

schopny pracovat s vektorovým formátem SHP a běžnými rastrovými formáty. Pomocí těchto aplikací se může zkonstruovaný geoinformační systém nadále rozvíjet. Do vytvořené geodatabáze budou pracovníky vodohospodářské společnosti vkládány a aktualizovány další objekty vodovodní a kanalizační infrastruktury. Na toto léto je plánováno mapování vodních zdrojů a studen pomocí mobilního GIS. Výsledky budou také spravovány ve vytvořeném modelu. V neposlední řadě má město Dobříš zájem o publikování dosažených výsledků pomocí mapového serveru.

6 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a vytvořit geoinformační systém využitelný ve vodohospodářství a funkcionalitu tohoto systému demonstrovat na vybraném území Dobříšska. Nejprve byla pomocí GIS analyzována změna vodních toků, vodních ploch a mokřadů ve vymezeném území od dob 2. vojenského mapování až do současnosti. U vodních toků bylo za celé zkoumané období zjištěno zkrácení o 4,5 %, u vybraných vodních ploch zmenšení jejich rozlohy o 20 %, přičemž k nejvýraznějším změnám došlo v 1. pol. 20. století.

Dále byla řešena problematika akumulace vody v území pomocí softwaru ArcGIS 9.3 a jeho extenzí. Z výsledného akumulačního rastru bylo určeno, ve kterých místech se hromadí nejvíce vody a následně porovnáno se současnou říční sítí i rozmístěním vodních ploch. Protože se oblast Dobříšska potýká s nedostatkem zdrojů pitné vody, vytvořený rastr akumulace vody by mohl sloužit jako jeden z podkladů pro určení potenciálních vodních zdrojů v regionu.

Všechny výstupy byly spolu s dalšími vodohospodářskými daty uspořádány do ESRI geodatabáze. Tuto geodatabázi lze rozšiřovat o prakticky libovolný počet objektů zájmu, jako např. vodovodní a kanalizační síť, lokality vodních zdrojů a další. Vytvořený datový model budou nadále využívat zaměstnanci Vodohospodářské společnosti Dobříš a pracovníci městského úřadu. S těmito institucemi byla Univerzitou Karlovou oficiálně podepsaná smlouva o vzájemné spolupráci.

V bakalářské práci bylo prokázáno, že geoinformační systémy v oboru vodohospodářství nachází uplatnění nejen ve správě vodohospodářské infrastruktury, jak je dnes ve větších vodohospodářských společnostech již zvykem. Další možnosti využití nachází GIS i v oblasti hydrologického modelování, rozmístění vodních zdrojů v současnosti i v minulosti a v mnoha dalších případech. Lze tedy říci, že všechny cíle uvedené v zadání práce byly splněny a výsledky analýzy změn vodních zdrojů potvrdily obecně platná fakta uvedená v rešeršní části práce.

Samotné téma práce je velmi široké, proto bylo místy problematické shrnout všechny aspekty dané tematiky do pouhých čtyřiceti stran. Rešerše v úvodní části tak zahrnuje jen nejdůležitější oblasti dané problematiky a pro podrobnější informace slouží odkazy uvedené v textu, resp. v seznamu použité literatury na konci práce.

Téma využití GIS ve vodohospodářství je v současnosti aktuální. I z důvodu osobního zájmu o tuto problematiku bych některé ze zde řešených témat ráda rozvinula v diplomovou práci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ARCDATA (2010): *ARCDATA PRAHA: Geografické informační systémy* [online]. 2010 [cit. 2010-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.arcdata.cz>>.

BERAN, J. (2005): *Základy vodního hospodářství*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005. 148 s. ISBN 80-213-0694-7.

BRŮNA, V.; KŘOVÁKOVÁ, K. (2005): Staré mapy jako cenný zdroj informací o stavu a vývoji krajiny. *ZAHRADA - PARK - KRAJINA*. 2005, č. 4, s. 25 - 29. Společnost pro zahradní a krajinářskou tvorbu, Praha, 2005. ISSN 1211-1678.

BRŮNA, V.; KŘOVÁKOVÁ, K. (2006): Staré mapy v prostředí GIS a internetu. In: *GEOS 2006 - 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics - Conference Proceedings*. Praha, 2006. ISBN 80-85881-25-X. Dostupné z WWW: <http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/41_bruna_krovakova/paper/41_bruna_krovakova.pdf>.

DOBROVOLNÝ, P. (1998): *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Brno: Vydavatelství Masarykovy univerzity, 1998. 208 s. ISBN 80-210-1812-7.

ESRI (2008): *ArcGIS 9.3 Desktop Help: CAD data representation* [online]. 2008 [cit. 2010-05-13]. Dostupné z WWW: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=CAD_data_representation>.

ESRI (2009a): *ArcGIS 9.3 Desktop Help: Types of geodatabases* [online]. 2009 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Types_of_geodatabases>.

ESRI (2009b): *ArcGIS 9.3 Desktop Help: Calculating flow accumulation* [online]. 2009 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=5979&pid=5973&topicname=Calculating_flow_accumulation>.

ESRI (2010): *Products Overview* [online]. 2010 [cit. 2010-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.esri.cz>>.

GEOLAB: Laboratoř geoinformatiky UJEP [online]. 2010 [cit. 2010-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.geolab.cz>>.

GRASS GIS - The World Leading Free Software GIS [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://grass.itc.it/>>.

HUDEČ, V. 2009. Využití GIS ve vodárenství. *ARCREVUE: informace pro uživatele software ESRI* [online]. 2009, roč. 18, č. 3, s. 33 - 37. ISSN 1211-2135. Dostupný z WWW: <http://www.arcdata.cz/digitalAssets/114287_AR2-09_web.pdf>.

INFORMAČNÍ SYSTÉM VODA České republiky: Průvodce aplikacemi v gesci Ministerstva zemědělství [online]. 2008 [cit. 2010-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.voda.gov.cz/portal/cz/InformacniPortalVODA.pdf>>.

JANITOR - systém pro analýzu a syntézu dat [online]. 2005 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <http://janitor.cenia.cz/www/j2_intro.php?lang=cze&idmn=31>.

JANSKÝ, B. (2006): *Hydrologie* [CD-ROM]. Praha: Geografická sekce PřF UK, 2006.

JEDLIČKA, K.; MENTLÍK, P. (2002): Hydrologická analýza a výpočet základních morfometrických charakteristik povodí s využitím GIS. In: *Sborník GEOINFORMATIKA z XX. sjezdu ČGS*. [online]. [cit. 2010-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.kge.zcu.cz/veda/misc/mentlik/hydr_analys.pdf>.

JEDLIČKA, J., ŠTYCH, P. (2007): *Hydrologické modelování v programu ArcGIS*. Praha: CITT Praha Akademie kosmických technologií, oblast Galileo, GMES, 2007. 62 s.

JUST, T. a kol. (2005): *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. 3. ZO ČSOP Hořovicko, Praha 2005. 359 s. ISBN 80-239-6351-1.

KLIMÁNEK, M. (200?a): *GIS - integrované využití (Prostorová interpolace dat, digitální modely terénu)* [online]. [cit. 2010-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://mapserver.mendelu.cz/gisiv>>.

KLIMÁNEK, M. (200?b): *GIS - integrované využití (Databázové systémy, globální navigační satelitní systémy)*. [online]. [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <<http://mapserver.mendelu.cz/gisiv>>.

KOLÁŘ, J. (1997): *Dálkový průzkum Země 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. 164 s. ISBN 80-01-01567-X.

KOLÁŘ, J. (2003): *Geografické informační systémy 10*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 161 s. ISBN 80-01-02687-6.

LANGHAMMER, J. (2006): *Modelování s daty DPZ. Multitemporální analýza* [online]. [cit. 2010-04-02]. Dostupné z WWW: <http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/vtfg2/prednasky/dpz_4/DPZ_prednaska_4.pdf>.

LANGHAMMER, J.; VAJSKEBR, V. (2007): Využití GIS pro analýzu zkrácení říční sítě na základě historických mapových podkladů. In: LANGHAMMER, J. a kol. : *Povodně a změny v krajině*. Praha: Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze a Ministerstvo životního prostředí ČR, 2007. s. 153 - 167. ISBN 978-80-86561-86-8.

MAIDMENT, D. (2002): *Arc Hydro: GIS for Water Resources*. ESRI Press, 2002. 224 p. ISBN 1-58948-034-1.

MAIDMENT, D., DJOKIC, D. (2000): *Hydrologic and Hydraulic Modeling Support: with Geographic Information Systems*. Environmental Systems Research Institute, 2000. 216 p. ISBN 1-879102-80-3.

MIKLOŠÍK, F. (1997): *Státní mapová díla České republiky*. Brno: Vojenská akademie Brno, 1997. 110 s.

MIKŠOVSKÝ, M., ZIMOVÁ, R. (2006): Historická mapování Českých zemí. In: *GEOS 2006 - 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics - Conference Proceedings*. [online]. [cit. 2010-04-05]. Dostupné z WWW: <http://www.vugtk.cz/odis/sborniky/jine/geos06/paper/71_miksovsky_zimova/paper/71_miksovsky_zimova.pdf>.

NĚMEC, J. a kol. (2006): *Voda v České republice*. Praha: Consult Praha, 2006. 253 s. ISBN 80-903482-1-1.

QUANTUM GIS [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://qgis.org/>>.

RAPANT, P. (2006): *Geoinformatika a geoinformační technologie*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. 513 s. ISBN 80-248-1264-9. Dostupné z WWW: <http://gis.vsb.cz/rapant/publikace/knihy/GI_GIT>.

REICHHOLF, J. (1988): *Pevninské vody a mokřady*. Praha: Nakladatelství IKAR Praha, 1998. 223 s. ISBN 80-7202-185-0.

SEMOTANOVÁ, E. (2001): *Mapy Čech, Moravy a Slezska v zrcadle staletí*. Praha: Nakladatelství Libri, 2001. 263 s. ISBN 80-7277-078-6.

ŠTYCH, P. a kol. (2008): *Vybrané funkce geoinformačních systémů*. Praha: CITT Praha Akademie kosmických technologií, oblast Galileo, GMES, 2008. 179 s.

TopoL Software [online]. © 1999 - 2010 [cit. 2010-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.topol.cz>>.

UHLÍŘOVÁ, K.; ZBOŘIL, A. (2009): Možnosti využití laserového snímání povrchu pro vodohospodářské účely. *VTEI: Vodohospodářské technicko - ekonomické informace*. 2009, roč. 51, č.6, s. 11 - 15. ISSN 0322-8916. Dostupný z WWW: <http://www.dibavod.cz/data/lls_clanek_vtei.pdf>.

VACEK, S. a kol. (2005): *Historie a současnost dobříšského vodovodu*. Dobříš: Vodohospodářská společnost Dobříš spol. s.r.o., 2005. 50 s.

VEVERKA, B. (2004): Georeferencování map historických vojenských mapování na území ČR. In: *GISy ve státní správě. Sborník abstrakt a CD ROM referáty v plném znění*. Invence Litomyšl. Pardubice, 2004. ISBN 80-86143-21, ISSN 1213-4163. Dostupné z WWW: <http://projekty.geolab.cz/gacr/a/files/vev_sec_04.pdf>.

VICHROVÁ, M. (2006): Interpretace obsahu map II. vojenského mapování. In: *Aktivita v kartografii 2006: Zborník referátov zo seminára*. Bratislava 2006, Kartografická spoločnosť SR a Geografický ústav SAV.

VOŽENÍLEK, V. (2001). *Aplikovaná kartografie I: Tematické mapy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2001. 187 s. ISBN 80-244-0270-X.

VOŽENÍLEK, V. a kol. (2001): *Integrace GPS/GIS v geomorfologickém výzkumu*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2001. 185 s. ISBN 80-244-0383-8.

VÚV T.G.Masaryka - Oddělení GIS [online]. 2007 [cit. 2010-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://dibavod.cz>>.

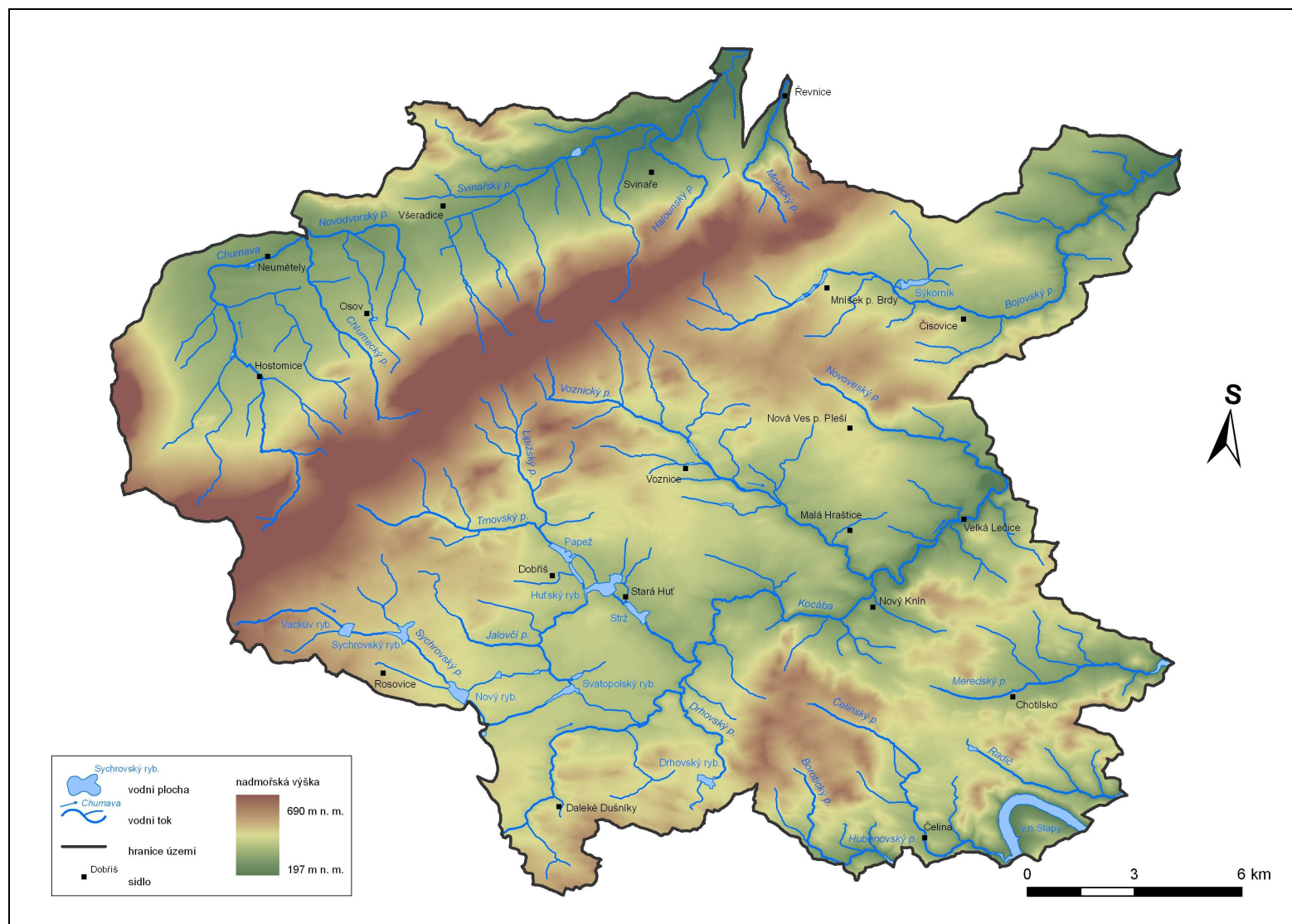
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: CD s digitální podobou práce a databází s vytvořenými daty

Příloha 2: Mapa vymezeného území

Příloha 3: Akumulace vody ve vymezeném území

PŘÍLOHA 2: Mapa vymezeného území



PŘÍLOHA 3: Akumulace vody ve vymezeném území

